

Soluções mecanizadas para limpeza, recolha, transporte e valorização dos resíduos e subprodutos florestais

Catherine Ubirajara Cardoso Novais

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. António Torres Marques

Orientador no INEGI: Doutor António José Baptista



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Setembro 2016

Resumo

Portugal possui, aproximadamente, 35% de áreas florestais e é um grande produtor de pasta de celulose, papel e cortiça. O setor florestal tem impacto representativo na economia portuguesa bem como na valorização ambiental referente à proteção do solo, dos recursos hídricos, na captação de carbono, na paisagem e biodiversidade

A exploração florestal associada às indústrias do setor produz grandes quantidades de resíduos. Sendo um país que apresenta uma dependência energética elevada, fruto da inexistência de produção nacional de fontes de combustíveis fósseis, o uso dos resíduos florestais para fins energéticos permite contribuir para a diminuição dessa dependência.

Portugal tem um clima com aspetos comuns aos países da Bacia Mediterrânea que se caracteriza por um verão seco. Esta peculiaridade climática favorece à ocorrência de incêndios florestais. Os combustíveis arbustivos e herbáceos, bem como os resíduos provenientes da exploração florestal e atividades silvícolas, podem ser visados para ações de limpeza de forma a minimizar a propabilidade de ignição e diminuir a incidência de incêndios florestais no país.

De forma a explorar potenciais soluções mecanizadas para o corte da vegetação espontânea, verificou-se a existência de novas opções para a limpeza florestal capazes de operar em terrenos com elevada declividade – situação recorrente no Norte de Portugal – como, por exemplo, sistemas telecomandados; roçadoras com duplo sistema de discos cortantes; trator-roçadora, etc.

No intuito de estimular o crescimento do setor florestal como um todo e, também, numa visão ecológica e sustentável, constatou-se novas perspetivas para conceção de produtos de valor acrescentado a partir dos resíduos florestais mais correntes em Portugal. Apesar das soluções atuais mais comuns passarem pela geração de energia através da queima em centrais térmicas, há um grande potencial em tratar esses resíduos como matéria-prima de onde se pode obter bioetanol, fibras de celulose, colas adesivas, entre outros diversos produtos.

Mechanized solutions for cleaning, collecting, transport and recovery of waste and forestry by-products

Abstract

Portugal has approximately 35 % of forest areas and is a major producer of pulp, paper and cork. The forest sector has a significant impact on the Portuguese economy as well as environmental improvement related to soil protection, water resources, carbon sequestration, landscape and biodiversity.

The forestry exploration associated with the industry produces large amounts of waste. As a country that has a high energy dependence, due to the lack of domestic production of fuel from fossil sources, the use of forest residues for energy purposes can contribute to decrease this dependence.

Portugal has a climate with common aspects of the countries of the Mediterranean Basin and is characterized by a dry summer. This peculiar climate favors the occurrence of forest fires. Natural fuels and waste from forestry activities can be targeted for cleanup actions to minimize the probability of ignition and to reduce the incidence of forest fires in the country.

In order to explore potential mechanized solutions for the cutting of natural vegetation, it was researched the existence of new options for forest cleaning able to operate on land with steep slopes – a recurring situation in northern Portugal - like remote controlled systems; brush cutters with double system of cutting discs; tractor-weeder, and others.

In order to stimulate the growth of the forest sector as a whole and in an ecological and sustainable vision, there are new perspectives to design value-added products from the most common kinds of forest waste in Portugal.

Although the most common current solutions are based on the power generation by burning waste in power plants, there is great potential in treating such waste as raw material from which you can obtain bioethanol, cellulose fibers, adhesive glues, and other products.

Agradecimentos

Nestes longos meses de trabalho, algumas pessoas foram particularmente importantes para a concretização desta dissertação de mestrado e pelas quais não poderia deixar de expressar meus sinceros agradecimentos.

Começo por agradecer ao meu orientador, Professor António Torres Marques, por me auxiliar no desenvolvimento deste trabalho, pela acessibilidade para resolução de dúvidas, por todo material e bibliografia fornecidos e por partilhar um pouco de sua vasta experiência, contribuindo para o meu crescimento profissional e académico.

Agradeço ao meu orientador do INEGI, Doutor António Baptista, por disponibilizar parte do seu tempo para me oferecer apoio e pelas sugestões que me foram dadas para solucionar as problemáticas do tema aqui tratado.

Também deixo o meu agradecimento ao LAETA e ao INEGI, pela oportunidade de permitirem minha integração e contribuição no projeto, fornecendo todo o suporte necessário. Ao RAIZ, Instituto de Investigação da Floresta e Papel, pela permissão e atenção facultadas na visita às suas instalações que propiciaram conhecer de forma mais próxima a atividade de investigação da área florestal.

Não poderia deixar de expressar a minha gratidão à minha família, em especial ao meu pai, Ronaldo, e à minha mãe, Jaciara, por acreditarem na minha capacidade, por todo o incentivo e palavras de força e determinação que me deram ao longo de todo meu percurso. Aos amigos de Portugal, pela amizade e carinho que permitiram que essa caminhada fosse mais tranquila.

Índice de Conteúdos

1	Introdução.....	1
2	Revisão Bibliográfica.....	5
2.1	Enquadramento da Floresta Portuguesa.....	5
2.2	Incêndios Florestais.....	7
2.3	Biomassa florestal	11
2.4	Exploração e gestão florestal	16
2.4.1	Controlo da vegetação espontânea.....	16
2.4.2	Exploração florestal	20
3	Caracterização da floresta nacional.....	26
3.1	Os povoamentos florestais segundo a espécie	26
3.2	Uso do solo em Portugal Continental.....	28
3.3	O relevo e o uso do solo por níveis de altitude	29
3.4	Propriedade e proprietário florestal.....	32
3.5	Espaços florestais ardidos	36
3.6	Combustíveis florestais	37
4	Tecnologias para a limpeza das florestas	39
5	Potencial valorização dos resíduos e subprodutos florestais	46
6	Conclusão.....	51
	Referências bibliográficas	53
	ANEXO A – Artigos apresentados no âmbito do projeto na Conferência de Engenharia Mecânica – CEM 2016.....	57

Índice de Figuras

Figura 1 - Distribuição do uso dos solos de Portugal continental	5
Figura 2 - Distribuição das espécies em solo português	6
Figura 3: Suscetibilidade aos incêndios florestais.....	8
Figura 4: Distribuição da biomassa numa árvore	11
Figura 5: Origem da biomassa florestal primária	12
Figura 6: Exemplo da distribuição dos resíduos florestais provenientes do corte final	13
Figura 7: Representação do sistema de madeira torada	24
Figura 8: Representação do sistema de troncos inteiros.....	24
Figura 9: Representação do sistema de árvores inteiras	25
Figura 10: (a) Carta hipsométrica (b) Carta de declive	30
Figura 11: Triturador horizontal VERMEER HG400	40
Figura 12: Corte de vegetação espontânea através de sistema telecomandado AS 750 RC	40
Figura 13: Roçadora	41
Figura 14: Trato-roçadora em terreno inclinado	41
Figura 15: Máquina de corte e acondicionamento de plantas lenhosas	42
Figura 16: Esquema representativo do equipamento acoplado a braço de escavadora	43
Figura 17: Requisitos necessários para o equipamento de corte	43
Figura 18: Trator com reboque florestal e grua.....	44
Figura 19: Resumo dos equipamentos envolvidos recolha de resíduos florestais	45
Figura 20: Resumo das potencialidades de valorização dos resíduos florestais	50

1 Introdução

O setor florestal assume uma importância estratégica decisiva para o futuro da sociedade portuguesa. A floresta é um espaço multifuncional, de elevado valor económico, quer na sua dimensão comercial, nos serviços ambientais que presta ou na valorização da paisagem e dos aspetos recreativos associados à sociedade. A floresta portuguesa tem um impacto representativo para o Produto Interno Bruto português comparativamente a outros países do espaço comunitário. Este setor é reforçado pela sustentação das indústrias de base florestal em matérias-primas nacionais, nomeadamente a da pasta e papel, cortiça e mobiliário. A floresta também tem um papel importante para os compromissos internacionais e para as metas da Estratégia Europa 2020, no que concerne à redução das emissões de gases de efeito estufa, ao aumento do recurso às energias renováveis e ao aumento da eficiência energética, contribuindo para a fixação de CO₂, produção de oxigénio e fonte de biomassa [1], [2].

Na última década, assistiu-se a um desinvestimento ao nível da produção florestal, que afetou a atividade primária na sustentação e oferta de matéria-prima – madeira, cortiça, resina, castanha, pinhões, entre outros – para as indústrias de transformação. A estratégia atual consiste em iniciativas que mitiguem a degradação do espaço florestal e promovam o crescimento futuro de bens silvícolas através de ganhos de produtividade em povoamentos florestais atualmente degradados e de uma melhoria da gestão florestal de muitos povoamentos. Estas ações são essenciais à sustentabilidade do conjunto do setor florestal [1], [2].

No âmbito das Estratégias de Investigação e Inovação para uma Especialização Inteligente, a visão para o setor florestal foca o aumento da capacidade produtiva florestal, garantindo sustentabilidade dos recursos. Em simultâneo, a visão estratégia

para o setor passa por melhorar a organização e qualidade do setor primário florestal tanto na produção como na capacidade e competência do seus agentes [1].

Os incêndios florestais são um fenómeno recorrente em Portugal. A sua ocorrência depende de uma série de fatores naturais e antropogénicos ligados à vegetação, meteorologia e à morfologia do terreno. Numa perspetiva de gestão, a vegetação é o único fator em que o homem pode intervir para minimizar os impactos negativos dos incêndios florestais. Por outro lado, o principal meio de propagação do fogo são os combustíveis de superfície, maioritariamente herbáceas e arbustos de diferentes propriedades, forma, composição e dimensão. As distintas propriedades das espécies arbustivas conferem-lhe um tipo diferente de comportamento no decorrer de um incêndio. Do mesmo modo, estas propriedades condicionam o aproveitamento como biomassa para produção de energia.

No que concerne ao controlo da vegetação espontânea, pode ser efetuada por diferentes métodos: a limpeza manual; com auxílio a equipamentos mecânicos; com recurso ao fogo controlado ou com herbicidas. Entretanto, são técnicas que apresentam limitações variadas. Por exemplo, os sistemas mecânicos (corta-matos e grade de discos) apenas funcionam em declives pouco acentuados e em povoamentos cujo compasso permita a passagem de tratores. O fogo controlado só pode ser feito por técnicos credenciados e requer um bom planeamento por forma a cumprir os objetivos sem impactos negativos, além de estar sujeito às oportunidades meteorológicas. Os resíduos provenientes da exploração florestal muitas vezes são deixados na área de abate pelos gastos associados ao seu tratamento, pela dificuldade de recolha, pela falta de mercado para consumo dessa biomassa, etc.

Os combustíveis arbustivos e herbáceos, bem como os resíduos provenientes da exploração florestal e atividades silvícolas, podem ser visados para ações de limpeza de forma a minimizar a propabilidade de ignição e diminuir a incidência de incêndios florestais em Portugal. Sendo um país que apresenta um terreno acidentado, principalmente na região Norte, é importante encontrar soluções que permitam maximizar a eficiência da limpeza com menores custos.

No sentido de prevenir os incêndios florestais e, também, como medida de inovação para crescimento do setor florestal, a limpeza, recolha e transporte dos resíduos e subprodutos florestais para posterior valorização surgem como resposta.

O projeto tem três objetivos primordiais:

- O primeiro consiste no levantamento e caracterização dos diferentes tipos de florestas nacionais, identificando as áreas florestais por espécie e geomorfologia (altitude e declive) e os principais resíduos e subprodutos florestais gerados;
- O segundo objetivo consiste na identificação das especificações de equipamentos mecanizados capazes cortar, recolher e transportar os resíduos e subprodutos florestais;
- O último objetivo passa pela identificação de soluções de alto valor acrescentado para os resíduos e subprodutos florestais. Serão objeto de estudo as diferentes formas de valorização dos resíduos de diferentes povoamentos florestais.

Este trabalho, realizado no âmbito de um projeto LAETA, destacará as soluções mecânicas para a gestão dos combustíveis florestais e do seu aproveitamento energético ou ecológico. Encontra-se dividido em seis capítulos, incluindo o presente de Introdução. Os capítulos subsequentes abordarão os seguintes temas:

Iniciar-se-á com uma revisão bibliográfica do tema, capítulo dois, abordando de forma mais aprofundada a questão dos incêndios florestais, da biomassa florestal e a gestão dos combustíveis, bem como as técnicas e equipamentos mais comuns na atividade florestal.

Segue-se o capítulo três, onde será feita a caracterização da floresta portuguesa, enquadrando os principais povoamentos florestais e como estão distribuídos no território. Também é feita uma menção dos espaços florestais ardidos nos últimos anos e as características dos combustíveis florestais mais comuns.

O quarto capítulo refere-se às potenciais tecnologias encontradas para limpeza das áreas florestais, identificando as especificações de equipamentos capazes de suprir os requisitos necessários.

O quinto capítulo trata das diferentes possibilidades de valorização dos resíduos e subprodutos florestais provenientes de diferentes povoamentos.

O capítulo seis aborda as principais conclusões deste trabalho, bem como perspectivas de trabalhos futuros.

Encontra-se anexo, ao fim do trabalho, os artigos que resultaram da proposta deste projeto apresentados na Conferência de Engenharia Mecânica – CEM 2016.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Enquadramento da Floresta Portuguesa

A floresta representa 35% do território de Portugal Continental (Figura 1), equivalente a 3.154.800 hectares [3]. Dos espaços florestais arborizados de Portugal continental, 85% são propriedades privadas em que 8% pertencem às indústrias. As áreas públicas comunitárias (baldios) correspondem a 13% do total e os 2% restantes são do domínio privado do Estado [4].

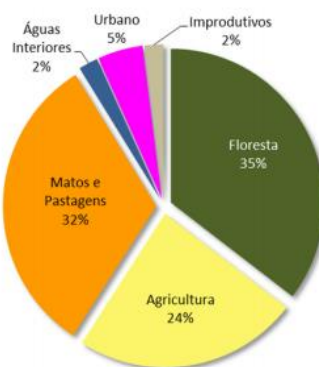


Figura 1 - Distribuição do uso dos solos de Portugal continental [3]

De acordo com o 6º Inventário Florestal Nacional [3], das espécies florestais em solo português, o eucalipto é a maioria, 26%, seguida do sobreiro e do pinheiro-bravo, 23% cada (Figura 2). Entre 1995 e 2010, houve um aumento de 13% da área ocupada por eucalipto onde a principal contribuição foi pela substituição de áreas anteriormente ocupadas por pinheiro-bravo.

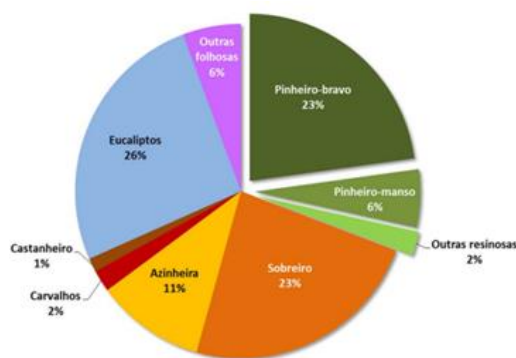


Figura 2 - Distribuição das espécies em solo português [3]

Ao longo dos anos, houve um decréscimo da área florestal de, aproximadamente, 4,6%, convertida, principalmente, em áreas de matos e pastagens ou urbanizadas. Apesar dessa diminuição, verifica-se a significativa resiliência da floresta portuguesa que, nos últimos anos, esteve sujeita a graves incêndios florestais e pela ocorrência de doenças que tem afetado o pinheiro-bravo (Nemátodo da Madeira do Pinheiro¹). Constata-se mais de 2,5 milhões de hectares ardidos entre 1990 e 2012 [3].

O setor florestal tem impacto representativo na economia portuguesa bem como na valorização ambiental referente à proteção do solo, dos recursos hídricos, na captação de carbono, na paisagem e biodiversidade. Segundo a Estratégia Nacional para as Florestas [4], Portugal é líder na extração de riqueza florestal em comparação a outros países do Mediterrâneo, como França e Espanha, estimando-se 344 euros/ha/ano. Este mesmo documento também menciona que o setor florestal gera cerca de 113 mil empregos diretos, 2% da população ativa portuguesa, e representa cerca de 10% das exportações nacionais e 3% do Valor Acrescentado Bruto. A floresta portuguesa é, portanto, um setor significativo tanto na geração de empregos como na diversidade de produtos, das quais pode-se citar a produção lenhosa, papel e cartão, cortiça, frutos secos, resina e mel que, muitas vezes, beneficia o crescimento de regiões economicamente desfavorecidas.

¹ Nemátodo da Madeira do Pinheiro refere-se a é um verme microscópico causador da doença da murchidão dos pinheiros. O sintoma principal desta doença é o súbito declínio e morte da árvore atacada. A sua distribuição faz-se em toda a árvore, ao longo do tronco, na casca e nos ramos mais finos, alojando-se nos canais de resina, provocando a destruição das células. Este agente ataca as coníferas em geral, principalmente do género *Pinus*, como, por exemplo, o pinheiro bravo e o pinheiro manso [75].

2.2 Incêndios Florestais

Portugal é atingido todos os anos por diversos incêndios florestais responsáveis por perdas ambientais, económicas e sociais. Entre 2001 e 2010, cerca de 1,5 milhão de hectares de espaços florestais foram atingidos por incêndios (Gráfico 1). Em 2003 e 2005 ocorreram os maiores sinistros do período: em 2003 foram afetados 425 mil hectares seguidos de 339 mil em 2005 [5].

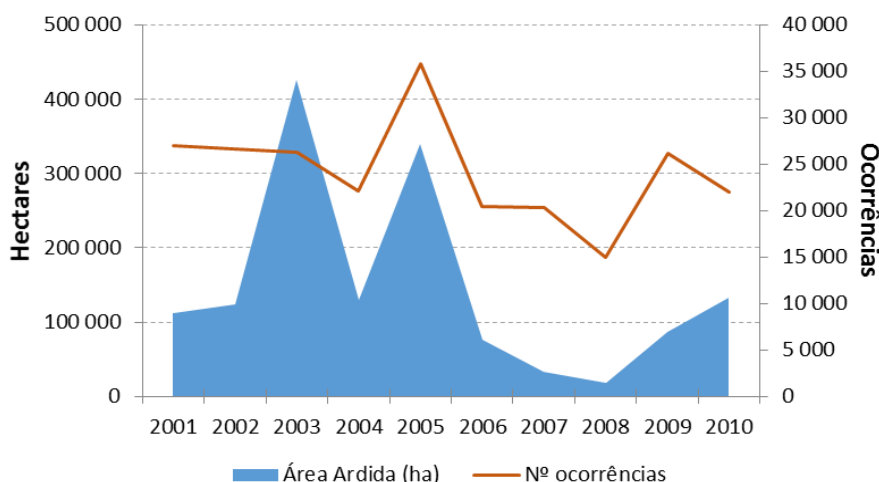


Gráfico 1 - Estatística anual do número de ocorrências e área ardida no período de 2001 a 2010 [5]

Portugal tem um clima com aspetos comuns aos países da Bacia Mediterrânea que se caracteriza por um verão seco. Esta peculiaridade climática favorece à ocorrência de incêndios pela facilidade de propagação do fogo decorrente da situação de secura que a vegetação se encontra [6]. Em contrapartida, a floresta portuguesa apresenta uma elevada resiliência e rapidamente recupera as suas características [3]. A Figura 3 ilustra o mapa da suscetibilidade aos incêndios florestais em Portugal Continental. Como se pode observar, a região norte concentra a maior probabilidade em todo o território.

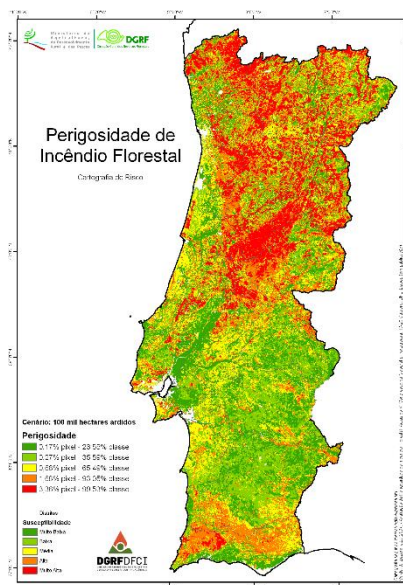


Figura 3: Suscetibilidade aos incêndios florestais [7]

Os incêndios florestais são causados por fatores naturais (descargas elétricas) ou têm origem humana, resultantes de acidentes, uso negligente do fogo, intencionais com o uso doloso do fogo etc. De acordo com o Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas [8], no período entre 2003 e 2013, apenas 1,5% do total de ocorrências investigadas resultaram de causas naturais (Gráfico 2). A ação humana é responsável pela maior parte dos incêndios florestais em Portugal Continental, por incendiarismo ou negligência, onde torna-se possível a intervenção no âmbito de prevenir novas ocorrências.

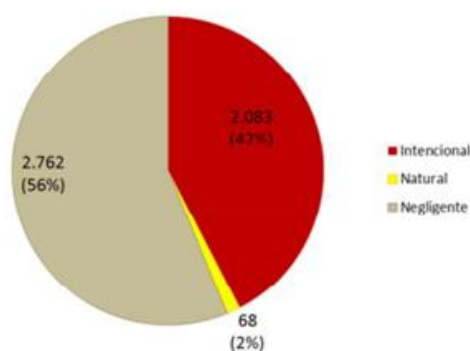


Gráfico 2 - Número médio de incêndios florestais com causa apurada no período de 2003-2013 [8]

O incêndio também tem efeitos negativos para o solo que, conforme explica FERREIRA *et al.* [9], “fica desprotegido e sujeito a erosão devido à completa destruição da vegetação arbustiva e herbácea e da camada de manta morta (camada de matéria orgânica no topo dos solos rica em nutrientes). Pode formar-se uma

camada extremamente repelente à água por baixo da camada de cinzas que impede a infiltração da água e promove a escorrência por cima do solo [9]”. Também ressalta-se que a ocorrência de chuva após um incêndio torna mais fácil a mobilização das cinzas e do solo para as encostas, o que pode resultar na degradação da qualidade da água a jusante das áreas queimadas [9].

Os incêndios florestais também podem ser responsáveis por morte e ferimentos na população e animais, destruição de bens, corte de vias de comunicação, proliferação e disseminação de pragas e doenças, alterações, por vezes de forma irreversível, do equilíbrio do meio natural [10]. No ano de 2003 registraram-se 21 vítimas mortais devido aos incêndios florestais e em 2005, 22 [11].

A legislação vigente, nomeadamente o Decreto-Lei nº 124/2006 [12], estabelece normas para a prevenção de incêndios em áreas florestais. Dentre as quais pode se citar a proibição de queimas² e queimadas³ durante o período crítico do verão e a obrigatoriedade em se proceder a gestão dos combustíveis em determinadas zonas estabelecidas pela lei.

De forma a reduzir o risco de incêndio, o homem pode atuar na promoção da gestão dos combustíveis para diminuir a possibilidade de ignição, incentivando a limpeza da vegetação herbácea e arbustiva, bem como em áreas florestais em torno de rodovias, vias férreas, locais atravessados por linhas elétricas etc.

Os principais fatores que influenciam os incêndios florestais são os combustíveis florestais, o relevo e a meteorologia [13].

Combustíveis florestais

Os combustíveis florestais são todos os materiais vegetais, vivos ou mortos, existentes na floresta. Segundo CASTRO *et al.* [13], os combustíveis podem ser agrupados segundo a sua dimensão por:

² Queimas refere-se à utilização do fogo para eliminar sobrantes de exploração agrícola ou florestal que estão cortados e amontoados.

³ Queimadas refere-se à utilização do fogo para renovação de pastagens e eliminação de restolho e, ainda, para eliminar sobrantes de exploração agrícola ou florestal e que estão cortados, mas não amontoados.

- Finos: constituído pela folhada, ramos finos e estrato herbáceo, como ervas anuais, pastagens e searas.
- Médios: matos rasteiros ou ramos médios
- Grossos: ramos grossos e troncos de árvores

A dimensão dos combustíveis está diretamente relacionada com a velocidade de propagação do incêndio florestal. Os mais finos ardem mais facilmente que os combustíveis grossos pela maior superfície de contato com o ar [13].

Outros fatores que influenciam na propagação do fogo são a quantidade de combustíveis florestais existentes na área e a humidade. Quanto maior for a humidade contida nos combustíveis, mais difícil torna-se a ignição e o desenvolvimento do incêndio.

Importa referir também que a continuidade vertical ou horizontal dos combustíveis influencia na intensidade do fogo e na área ardida. Quando há continuidade vertical, ou seja, não existe interrupção dos estratos entre a superfície do solo e a copa, as chamas podem se propagar na vertical. Se há uma continuidade horizontal, isto é, não existe interrupção do combustível no solo, o fogo pode se propagar de um combustível para outro.

Relevo

O relevo influencia na progressão dos incêndios florestais. Quanto maior o declive de um terreno, maior é o efeito das colunas de convecção que aquecem a vegetação acima do incêndio, aumentando a velocidade de propagação no sentido ascendente. Um segundo aspeto é que as características do relevo afetam o vento, a temperatura e a humidade relativa do ar, que também influem na propagação do fogo [14].

Fatores climáticos

- **Temperatura:** O aumento da temperatura acelera a perda de humidade dos combustíveis, fazendo com que ardam mais facilmente, e provoca a libertação de substâncias voláteis da vegetação, aumentando a sua inflamabilidade [13]–[15].
- **Humidade atmosférica:** o vapor de água na atmosfera humedece os materiais, além de saturar o próprio ar, e dificulta a ignição [13]–[15].

- **Vento:** o conhecimento da direção e velocidade dos ventos é fundamental, pois determinam o sentido e a intensidade de propagação do fogo [13]–[15].

2.3 Biomassa florestal

Atualmente são discutidas medidas para a utilização de combustíveis renováveis em substituição aos combustíveis fósseis para a geração de energia. Nesse âmbito, a biomassa de origem florestal assume um lugar de destaque pela grande quantidade de resíduos que são gerados a partir da exploração e gestão florestal e que, a princípio, não têm valor agregado.

Portugal apresenta uma dependência energética elevada, fruto da inexistência de produção nacional de fontes de energias fósseis e, por isso, importa cerca de 83% da energia que consome [16]. O uso da biomassa florestal para fins energéticos permite contribuir para diminuição dessa dependência.

Os resíduos florestais provenientes da colheita florestal são constituídos por folhas, galhos, cascas e partes da madeira que não são aproveitadas e que permanecem após o corte (Figura 4). Também podem ser considerados resíduos florestais aqueles provenientes do corte da vegetação arbustiva e herbácea oriundos das intervenções silvícolas de limpeza de matos e gestão de combustíveis.

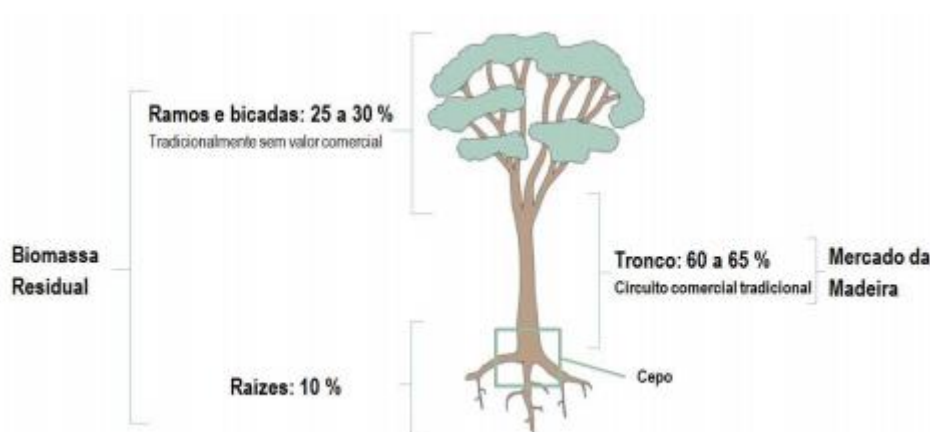


Figura 4: Distribuição da biomassa numa árvore [17]

A biomassa florestal primária - fração biodegradável dos produtos gerados na floresta - é obtida tendo em conta a função principal do povoamento de onde é proveniente, conforme identificado pelo Projeto Enersilva [18] e ilustrado na Figura 5. A biomassa florestal secundária é a matéria orgânica residual gerada nos processos da

indústria de transformação da madeira, tal como as serrações, fábricas de celulose, tábuas e contraplacados, carpintarias e indústrias de mobiliário.

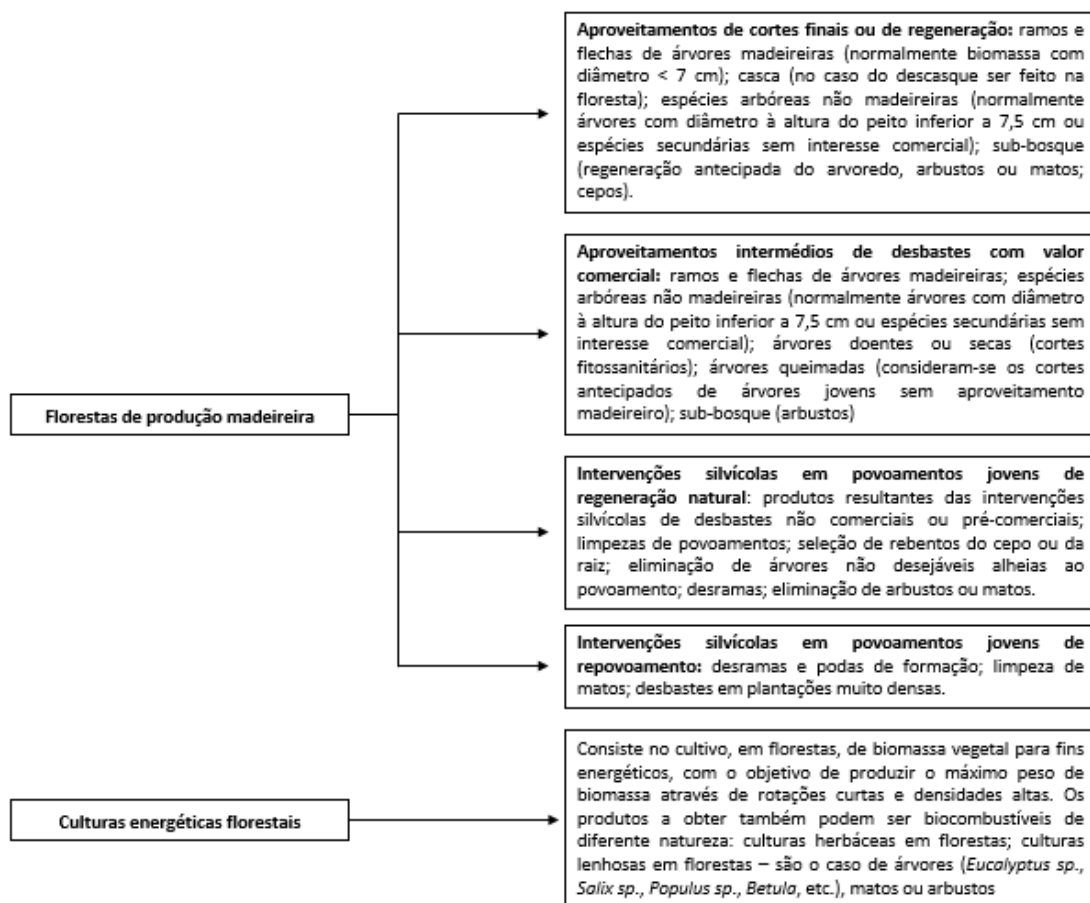


Figura 5: Origem da biomassa florestal primária (adaptação do Projeto Enersilva [18])

Apesar da grande vantagem sustentável da utilização da biomassa florestal para fins energéticos, este recurso renovável apresenta algumas desvantagens e limitações, das quais pode-se citar a dificuldade da recolha que está condicionada às características do terreno e à dispersão da biomassa; os impactos ambientais gerados na compactação dos solos, erosão e perdas de nutrientes; os custos associados à mão-de-obra, máquinas etc.

A escolha da tecnologia mais adequada para recolha dos resíduos florestais leva em consideração, além da eficiência económica, fatores como a densidade e estado da rede viária para o transporte, tipo de povoamento florestal, espécies, as características físicas do terreno, etc [18].

Visando o aproveitamento dos resíduos provenientes da colheita da madeira, é importante considerar durante o corte que os mesmos não fiquem dispersos pelo terreno, dificultando a posterior remoção. Podem ser adotadas técnicas durante o abate que permitam a concentração dos resíduos em pilhas ou cordões para facilitar a recolha de forma mais eficiente, conforme exemplificado na Figura 6.

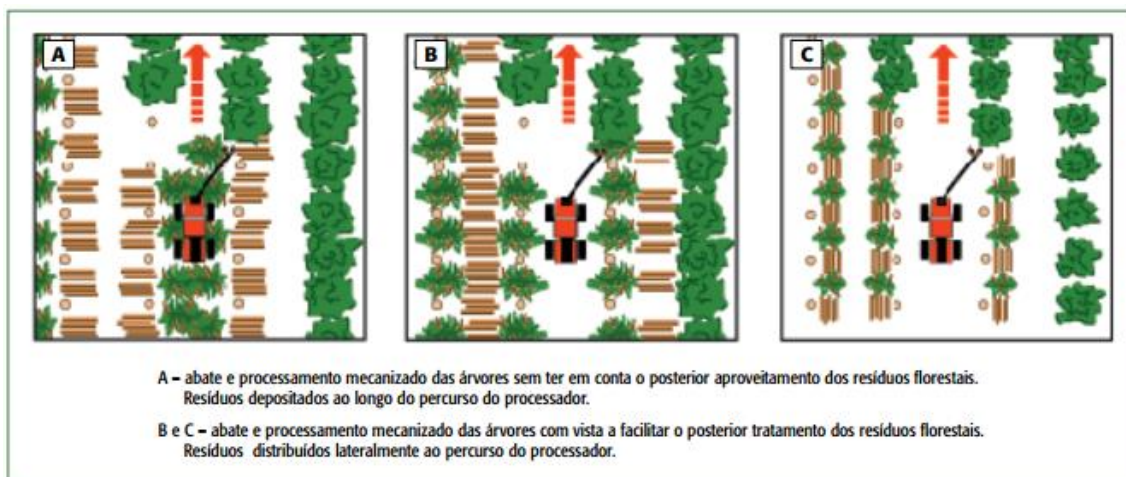


Figura 6: Exemplo da distribuição dos resíduos florestais provenientes do corte final [19]

Na extração mecanizada, os equipamentos mais comuns são *forwarder* (trator transportador), camiões, tratores agrícolas ou florestais, enfardadeiras, entre outros.

Os resíduos florestais, geralmente, são utilizados na forma de estilhas para geração energética. O processamento destes resíduos, através de trituradores ou picadores, pode ser feito no local de abate, no carregadouro ou na unidade consumidora. As técnicas mais utilizadas encontram-se descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Métodos de processamentos dos resíduos florestais (Adaptado das fontes [19], [20])

Método	Definição	Recolha	Vantagem	Desvantagem
Processamento dos resíduos no local de abate	Recolha e trituração dos resíduos florestais dentro do povoamento florestal	Triturador rebocado em trator equipado com grua ou em trator transportador (<i>forwarder</i>)	Trituração e transporte dos resíduos para o carregadouro em simultâneo	Limitado à declividade do solo e a curtas distâncias de transporte.
Processamento dos resíduos no carregadouro	Recolha e transporte dos resíduos florestais até o carregadouro para trituração	Trator transportador (<i>forwarder</i>) ou trator equipado com grua e reboque. No sistema <i>full-tree, skidder</i> .	Possibilidade de uso de trituradores mais robustos	Necessário repetir o carregamento e descarregamento dos resíduos deixados no carregadouro
Processamento dos resíduos na unidade consumidora	Recolha e transporte dos resíduos florestais brutos até à unidade consumidora	Trator transportador (<i>forwarder</i>) ou trator com atrelado e grua.	Os resíduos são triturados quando a unidade consumidora optar. Evita-se o armazenamento de estilhas que podem fermentar e dar origem a combustão.	Transporte de material de baixa densidade

O transporte dos resíduos florestais em natureza – sem processamento - até à unidade consumidora é desvantajoso pela baixa densidade de material transportado. Como solução, pode-se efetuar o enfardamento da biomassa, fazendo a sua compactação, de forma a otimizar o transporte e armazenamento. Entretanto, as enfardadeiras não são capazes de operar em terrenos com elevada declividade [18].

Também é feito o aproveitamento da árvore inteira, onde a biomassa utilizada corresponde ao fuste inteiro, sendo fruto de desbastes, povoamentos de baixa rentabilidade, culturas energéticas, árvores de áreas de cortes antecipados ou danificados por incêndios, vendavais ou pragas e doenças [18].

Um estudo realizado por ADENE/INETI [21], em que foram estimadas as quantidades de biomassa florestal de acordo com a proveniência, verificou-se que a disponibilidade potencial deste recurso em Portugal é de $2,2 \times 10^6$ ton/ano

considerando os resíduos provenientes da floresta e da indústria transformadora da madeira (Tabela 2). A biomassa florestal poderia representar mais de 230 MW de potência elétrica.

Tabela 2: Disponibilidade potencial de biomassa florestal [21]

Tipo de resíduo	Quantidade (10 ⁶ ton/ano)
Matos	0,6
Biomassa proveniente de áreas ardidas	0,4
Ramos e bicadas	1,0
Indústria transformadora da madeira	0,2
Total	2,2

A nível nacional, o consumo dos resíduos florestais com fins energéticos é feito de três formas principais: nas centrais termoelétricas, das quais destacam-se a Central de Mortágua e a Central de Ródão; na indústria da madeira na produção em cogeração; na produção de pellets.

- **A central termoelétrica de Mortágua**, localizada na região Centro, no concelho de Mortágua, foi a primeira central de produção de energia elétrica com recurso à biomassa florestal, desde 1999. A central tem uma potência instalada de 9 MW, consumindo cerca de 8,7 ton/h de resíduos florestais, o que permite abastecer uma população na ordem de 35 mil habitantes [18].
- **A central termoelétrica de Vila Velha de Ródão**, inaugurada em 2007, utiliza biomassa florestal residual e tem uma potência instalada de 14,5 MVA, o que permite o abastecimento de energia elétrica a cerca de 70 mil pessoas e consome, aproximadamente, 160 mil toneladas anuais de resíduos florestais [18].
- **A indústria de papel e pasta de celulose** utiliza a biomassa florestal na cogeração de energia elétrica e térmica para uso no próprio processo de fabrico e injeta os excedentes de energia elétrica na rede nacional. Essa biomassa tem origem nos resíduos resultantes das operações de descasque da matéria-prima florestal, serradura e crivagem das aparas de madeira; do subproduto resultante do cozimento da madeira, o licor negro; da biomassa florestal residual provenientes da exploração florestal [22].
- **Pellets** são resíduos de madeira, proveniente das indústrias de transformação, prensados sob forma de pequenos cilindros, utilizados como combustível para aquecimento em dispositivos como salamandras, caldeiras e queimadores de pellets.

A biomassa florestal, antes vista como um resíduo, tornou-se um recurso para a produção bioenergética. Entretanto, torna-se necessário o estudo de novas técnicas e tecnologias para dinamizar a extração da biomassa e, também, novas formas de valorização de forma a incentivar o crescimento do setor.

2.4 Exploração e gestão florestal

As atividades florestais englobam desde as operações de silvicultura (limpeza da área, preparo do solo, plantio, manutenção, poda) à colheita de madeira (corte, extração e transporte). Devido à intensificação da exploração florestal, estas atividades, antigamente realizadas de forma manual e/ou com auxílio de animais, dispõem, atualmente, de técnicas e tecnologias para a mecanização de toda a operação.

2.4.1 Controlo da vegetação espontânea

A limpeza da vegetação espontânea tem como principais objetivos reduzir o risco de incêndio florestal ao diminuir a carga vegetal combustível, reduzir a concorrência pela água, luz e nutrientes em povoamentos jovens ou, ainda, facilitar a operação de mobilização do solo e dos trabalhos de arborização na instalação de povoamentos florestais [23].

O controlo da vegetação herbácea e arbustiva deve considerar a ocorrência de condições que possam desaconselhar a sua destruição total de forma a assegurar uma maior proteção ao solo contra erosão, maiores quantidades de matéria orgânica presente, maior defesa contra pragas e doenças, entre outros [15], [19].

As operações de limpeza de matos distinguem-se entre si quanto [19]:

- Ao grau de incidência ao solo, ou seja, se há ou não a mobilização do solo;
- À forma de execução onde a operação é feita de forma manual/motomanual ou mecanizada;
- À natureza da ação onde as operações são mecânicas, químicas ou através de fogo controlado.

Métodos manuais/motomanuais

A limpeza manual é utilizada onde não é possível o uso de meios mecânicos, como, por exemplo, em áreas com elevada quantidade de pedras ou declives

acentuados. Os equipamentos manuais utilizados no controlo da vegetação espontânea podem ser agrupados em motorizados e não motorizados. Entre os equipamentos não motorizados, pode-se citar enxadas e foices. Já a limpeza manual com equipamentos motorizados é realizada com auxílio a motorroçadoras e motosserras. A utilização dos métodos manuais/motomanuais apresenta grande desgaste físico ao trabalhador, principalmente se a área florestal for muito acidentada ou íngreme, o que aumenta os encargos dessa atividade.

a) Motosserras

As motosserras são constituídas pelo motor, mecanismo de arranque e equipamento de corte. Apresentam, em geral, uma massa inferior a 10 kg distribuída de forma que o centro de gravidade tenha uma posição que permita um fácil equilíbrio. A potência do motor varia entre 1 a 7 kW [24].

São utilizadas no abate de árvores e no corte de grandes áreas ou volumes de arvoredo [23]. A escolha de uma motosserra deve ter em consideração o nível de vibração, ergonomia e a segurança de forma a permitir o trabalhador utilizá-la durante toda jornada de trabalho com menos desgaste físico.

b) Motorroçadora

As motorroçadoras são transportadas à bandoleira ou no dorso e são constituídas por um motor de combustão interna e os elementos de corte [24]. Dentre os principais tipos de elementos de corte, tem-se as cabeças de fio de poliamida (NYLON ®), lâminas de 2 a 4 pontas, discos dentados, etc [23]. A escolha do elemento cortante é dependente do tipo de trabalho a executar. Relativamente ao motor, sua potência varia entre 2 a 2,5 kW [24].

As motorroçadoras são utilizadas na limpeza da vegetação espontânea ou de povoamentos e podem ser usadas no corte seletivo de arvoredo de pequenas dimensões. Destroem e eliminam a parte aérea da vegetação herbácea e arbustiva, mas não têm efeito sobre o sistema radicular, sendo, neste caso, necessário a utilização de um método mecânico adicional para destruição do mesmo e incorporação ao solo [23].

Métodos mecânicos

Os métodos mecânicos utilizados na limpeza de matos são acionados por tratores de rastros ou rodas. A grande vantagem da utilização dos métodos mecânicos é o aumento da produtividade e rapidez na execução do trabalho. Os equipamentos mais comuns são o corta-matos e a grade de discos.

a) Corta-matos

O corta-matos é um equipamento constituído pelos elementos de corte, elementos de proteção e pelo sistema de regulação de altura de corte [24]. Os elementos de corte giram a uma grande velocidade cortando o mato até à proximidade do solo e mantendo o sistema radicular da vegetação [15]. Os tipos mais comuns distinguem-se pela posição do eixo de rotação: corta-matos de eixo horizontal ou vertical.

O corta-matos de eixo vertical efetua o corte das formações herbáceas e lenhosas de diâmetro inferior a 8 cm e tem como elementos de corte facas ou correntes [15]. As primeiras apresentam, geralmente, maior eficácia, mas o material fica menos destroçado [24].

O corta-matos de eixo horizontal destroça toda a vegetação de diâmetro inferior a 15 cm [15]. O corte da vegetação resulta do impacto dos equipamentos de corte – martelos ou facas [24].

O uso deste tipo de equipamento é limitado em situações de elevada declividade ou pedregosidade. Entretanto, sempre que o seu emprego seja possível é preferível aos equipamentos que mobilizem o solo pela diminuição do risco de erosão.

b) Grade de discos

O uso de grade de discos permite a destruição da componente aérea e radicular da vegetação com simultânea mobilização do solo, ou seja, procede-se o corte, mistura e enterramento da vegetação herbácea e arbustiva.

A gradagem é realizada, geralmente, como operação prévia de limpeza de forma a efetuar a mobilização do solo e, ao mesmo tempo, controlo da vegetação

espontânea [19]. Esta operação é feita em direção paralela às curvas de nível e o solo é mobilizado até uma profundidade de 40 cm [15].

A utilização de grade de discos é limitada em situações de elevada pedregosidade ou em declives acentuados. Outro fator a ser considerado é que a mobilização do solo causada pela gradagem pode contribuir para o aumento da erosão e diminuição dos teores de matéria orgânica.

Fogo controlado

O fogo controlado é um procedimento executado sob a responsabilidade de um técnico credenciado e consiste na aplicação de fogo para destruir a vegetação espontânea através da queima.

Um incêndio florestal é proporcional à quantidade de biomassa disponível para arder e à sua velocidade de propagação. O fogo controlado, ao limitar o potencial energético e interromper a continuidade horizontal e vertical de combustível vegetal, aumenta a probabilidade de controlar um incêndio por reduzir a magnitude do comportamento do fogo, aumentar a acessibilidade e permitir o estabelecimento de pontos de apoio às ações de combate [14].

A aplicação desta técnica é dependente da meteorologia – temperatura, vento e humidade relativa do ar – por estar relacionada com a segurança e o controlo do fogo. Em temperaturas mais elevadas, o combustível seca mais rapidamente e nas mais baixas pode haver dificuldade de ignição [14]. O comportamento do fogo torna-se mais previsível quando a velocidade e direção do vento forem estáveis. Outro fator importante a se considerar é o declive do terreno, por também condicionar as condições de propagação do fogo e dimensões das chamas que, geralmente, são mais aceleradas e maiores em declives mais acentuados [14], [15].

O fogo controlado, apesar de ser dependente de muitos fatores e exigir uma equipa autorizada para sua realização, é uma técnica eficaz e de rápida execução quando são reunidas as condições adequadas para sua aplicação.

Operações químicas

Nas operações químicas, recorre-se à aplicação de herbicidas para o controlo da vegetação espontânea. São utilizados pulverizadores mecânicos montados em trator ou transportados e comandados por um operador. O uso de fitocidas deve ser feito com ponderação pelos impactos negativos que podem causar ao ambiente, como o risco de contaminação dos recursos hídricos ou das cadeias de fauna selvagem e doméstica [19]. Entretanto, é uma técnica que apresenta um nível de eficácia elevado a custos mais baixos e que exige um menor nível de intervenções [15].

2.4.2 Exploração florestal

A exploração florestal abrange o conjunto de operações necessárias para a obtenção de material lenhoso desde o abate das árvores ao carregamento e transporte do material. As principais operações da colheita florestal consistem no corte, processamento⁴, extração⁵, carregamento⁶ e transporte da madeira.

O corte é a primeira etapa do processo de colheita da madeira e pode ser realizado de forma manual, semimecanizada ou mecanizada. Em escala manual, incluem-se equipamentos como serras, facões ou machado, mas, atualmente, o corte manual é pouco realizado. No caso semimecanizado, recorre-se ao uso de motosserras para o abate, desgalhamento e toragem. No cenário mecanizado, estão associadas máquinas florestais como *harvester* (máquina com cabeçote processador) e *feller-buncher* (máquina com cabeçote de abate).

O corte e processamento das árvores com auxílio a motosserras são feitos quando as condições de terreno não permitem o acesso dos equipamentos mecanizados ou quando o volume de madeira não compensa os gastos associados à utilização de máquinas. Entretanto, a atividade motomanual apresenta riscos à saúde e segurança da mão-de-obra, como lesões do aparelho auditivo devido ao ruído produzido pela

⁴ Refere-se ao corte de ramos, toragem e descascamento das árvores abatidas.

⁵ Refere-se à movimentação do material lenhoso para junto duma via principal onde ficará empilhado para posterior carregamento [19].

⁶ Consiste na colocação do material lenhoso em veículos de transporte para ser conduzido às unidades de consumo [19].

motosserra; quedas pela deslocação do operador ou perda de equilíbrio; morte ou ferimentos graves pela queda de árvores numa direção inesperada, entre outros [19].

As operações mecanizadas resultam num menor contacto do operador com as árvores, maior rendimento e aproveitamento do material lenhoso e maior rapidez na execução do trabalho, mas são dependentes das condições de terreno, como declividade. Há também riscos associados à utilização de máquinas, como choques, atropelamentos e capotamentos.

Equipamentos da colheita florestal

No mercado existe uma gama de equipamentos apropriados para a colheita florestal capazes de operar nas mais diversas situações de terreno e povoamentos. Dentre os principais equipamentos florestais, tem-se o *harvester* (cabeçote processador) e *feller-buncher* (cabeçote de abate) para o corte e processamento das árvores; *forwarder* (trator transportador) e *skidder* (trator arrastador) para recarga e extração.

Usualmente, também são feitas adaptações aos tratores agrícolas para torná-los aptos à atividade florestal. Eles podem ser equipados com guias ou guinchos para extração da madeira, mas, por serem mais frágeis que as máquinas florestais, devem ser equipados com órgãos e proteções para aumentar a segurança do operador e vida útil do trator [19].

Na escolha do tipo de colheita mecanizada, deve-se levar em consideração fatores como a experiência e habilidade da mão-de-obra, a espécie florestal, o produto primário, a distância de arraste e o transporte, o desempenho do equipamento, o capital requerido e a característica do terreno para obter maior eficiência e sucesso operacional [25].

a) Harvester (máquina com cabeçote processador)

O *harvester* é composto por uma máquina base automotriz, montada sobre pneus ou rastros, um braço mecânico/hidráulico e um cabeçote. Executa, sequencialmente, o corte, derrubada, desgalhamento, toragem e empilhamento das árvores. Geralmente, é dotado de sistemas computadorizados que permitem guardar os dados de volume da madeira processada. Este equipamento é capaz de operar em

terrenos com declives que podem chegar a 50% quando montados sobre rastos [26], [27].

b) Feller-buncher (máquina com cabeçote de abate)

O *feller-buncher* é um trator florestal composto de um sistema de rodados, pneus ou rastos, e um cabeçote que corta e acumula as árvores para, posteriormente, arranjá-las em forma de feixe de árvores ou toros para um futuro carregamento [28]. Seu cabeçote é formado por um sabre, ou uma tesoura de dupla ação, ou uma serra, ou um disco dentado e garras acumuladoras [29]. É capaz de operar em elevadas declividades, principalmente quando equipado com cabines de nivelamento e montado sobre rastos, que podem chegar a 50% [30].

c) Skidder (trator arrastador)

O *skidder* é um trator florestal articulado com tração 4x4, 6x6 ou 8x8 utilizado para o arraste de toros ou árvores inteiras desde a área de extração à margem da estrada para posterior transporte [28], [30]. Quanto à forma de arraste, a madeira é removida através de uma garra ou por cabos de aço, ambos localizados na parte traseira. Os cabos de aço são utilizados em terrenos muito íngremes ou acidentados onde não é possível a passagem do trator [19]. A parte frontal é equipada com uma lâmina que auxilia na limpeza de áreas e remoção de obstáculos. O *skidder* montado sobre rodas pode operar em terrenos com declividade de 30% a 40% a favor da inclinação e os modelos de rastos até 50% a favor da inclinação [30].

d) Forwarder (trator transportador)

O *forwarder* é uma máquina articulada com suspensão de plataforma de carga sobre o chassi traseiro equipado com grua hidráulica usado na extração de toros com capacidade de carga entre 5000 a 22000 kg. São capazes de trabalhar em terrenos acidentados com até 30% de declividade, ou de 60% se movimentar-se no sentido do declive. Como a madeira é transportada sem contacto com o solo, os danos causados por erosão são menores quando comparados ao uso do *skidder* (trator arrastador) [30].

Sistemas de extração da colheita florestal

Existem vários sistemas de colheita florestal que, segundo MACHADO [31], têm como objetivo racionalizar a utilização dos recursos humanos e materiais para extrair material lenhoso com qualidade, de forma segura e econômica, considerando-se os aspetos técnicos, silviculturais, ergonômicos, ambientais e sociais.

A escolha do sistema de colheita é dependente de vários fatores, como as condições físicas do terreno, o povoamento florestal, condições climáticas, mão-de-obra, equipamentos disponíveis, entre outros.

Os principais sistemas de exploração florestal são *cut-to-length* (madeira torada), *tree-length* (troncos inteiros) e *full-tree* (árvores inteiras). Distinguem-se, principalmente, pelo local onde as operações de corte de ramos e toragem da madeira são realizadas.

No sistema de colheita *cut-to-length* ou madeira torada (Figura 7), todas as operações de processamento da árvore são realizadas no local de abate e a extração da madeira até o carregadouro é feita na forma de toros. Na colheita mecanizada, os equipamentos mais comuns são o *harvester* (cabeçote processador), para corte e processamento, e *forwarder* (trator transportador), para extração. Neste sistema, a movimentação do material lenhoso torna-se mais fácil, principalmente em áreas montanhosas, por originar toros com dimensões que podem ser empilhados e depois retirados com uma grua [19]. Os resíduos gerados neste sistema permanecem no solo reduzindo a retirada de nutrientes e os gastos de transporte [31].



Figura 7: Representação do sistema de madeira torada [30]

No sistema de colheita *tree-length* ou troncos inteiros (Figura 8), a árvore é parcialmente processada no local de abate, onde há o corte de ramos e desponta, e extraída por arraste até o carregadouro para toragem [19], [31]. Os equipamentos mais comuns são *harvester* (cabeçote processador) ou *feller-bunchers* (cabeçote de abate), para corte e/ou processamento, e *skidder* (trator arrastador) para extração. Este sistema é aconselhável quando a área de corte ou o volume de madeira a retirar for muito grande, uma vez que pode ser economicamente mais vantajoso concentrar primeiro os troncos para depois os seccionar [19]. Os resíduos gerados permanecem no local de abate favorecendo a nutrição do solo.

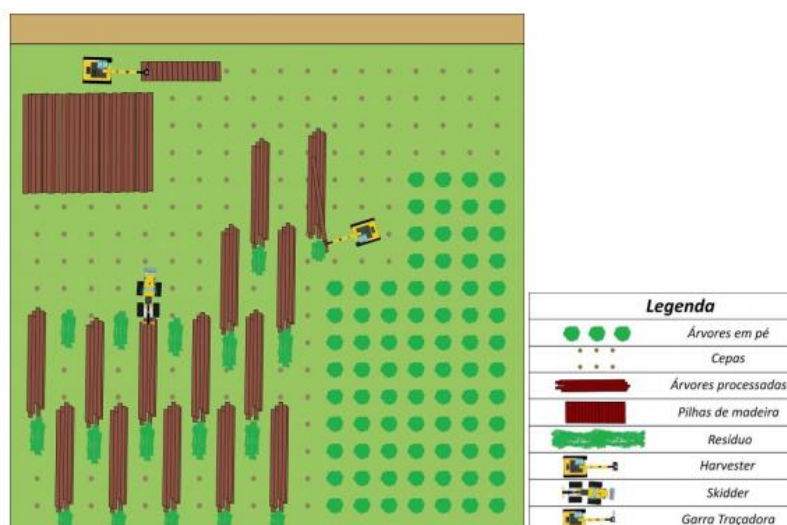


Figura 8: Representação do sistema de troncos inteiros [30]

No sistema de colheita *full-tree* ou árvores inteiras (Figura 9), a árvore é extraída do local de abate – sem nenhum processamento – para o carregadouro, onde irá ocorrer o corte de ramos e toragem [19]. Com a evolução dos equipamentos florestais, é um sistema em decadência, mas vantajoso em condições de terreno adversas às operações de corte florestal e topografias desfavoráveis [31]. As máquinas mais utilizadas são o *feller-buncher*, para abate, e *skidder*, para extração. Os resíduos gerados ficam acumulados no carregadouro, o que favorece a recolha para posterior valorização e a diminuição do risco de incêndios, mas, em contrapartida, remove dos povoamentos florestais uma quantidade relevante de nutrientes [19], [31].

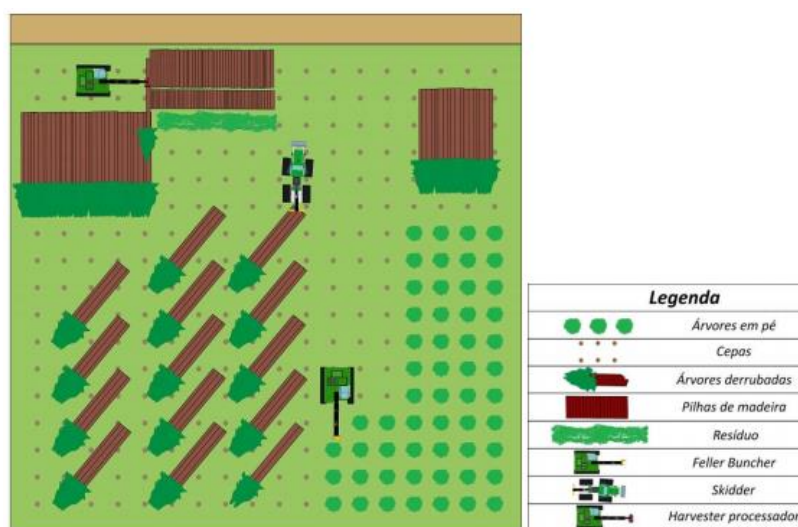


Figura 9: Representação do sistema de árvores inteiras [30]

3 Caracterização da floresta nacional

3.1 Os povoamentos florestais segundo a espécie

O Eucalipto

O género *Eucalyptus*, de ocorrência natural na Austrália, possui mais de 600 espécies que se adaptam a diferentes tipos de clima e solo [32]. Caracteriza-se por uma árvore de crescimento rápido e porte elevado, podendo alcançar mais de 50 m [6]. Foi introduzido em Portugal no século XIX, mas sua expansão ocorreu a partir do século XX com a utilização da espécie *Eucalyptus globulus*, predominante no país, para a produção industrial de pasta e papel dada a qualidade de sua fibra [33], [34].

O eucalipto é a principal ocupação florestal em Portugal Continental, cerca de 812 mil hectares, 26% dos povoamentos florestais, e encontra-se distribuído por todo o país, com preferência pela zona litoral de altitude inferior a 700 m, onde se desenvolve melhor [3], [35].

De acordo com o 6º Inventário Florestal Nacional [3], as áreas de eucalipto aumentaram em 13% nos últimos anos, sendo a maior contribuição das áreas ocupadas anteriormente por pinheiro-bravo. Dos povoamentos florestais de eucalipto, 50% encontram-se em áreas de até 10 hectares

O 5º Inventário Florestal Nacional [36] indica que a densidade média dos povoamentos florestais de eucalipto é de 583 árvores/hectare em povoamentos puros e de 438 árvores/hectare em povoamentos dominantes. O volume de árvores existentes é de $45.828 \times 10^3 \text{ m}^3$.

Em Portugal, as plantações de *Eucalyptus globulus* são feitas em regime de talhadia⁷ de 2 a 4 rotações com ciclos de corte entre os 9 a 12 anos [37]. Dois a três anos após o corte, as toiças rebentam e nelas desenvolvem-se várias varas. Segue-se um processo de seleção de varas em que as menos vigorosas são cortadas para favorecer o desenvolvimento das demais.

O Sobreiro

O sobreiro (*Quercus suber* L.) é uma árvore originária e característica da região mediterrânica ocidental [38]. É caracterizado por um crescimento lento, frutificação tardia e por um porte médio que pode atingir uma altura entre os 15 e 25 metros [39]. Distingue-se dos restantes carvalhos por possuir uma camada espessa de cortiça na parte exterior da casca, a revestir tronco e ramos, na qual reside atualmente o principal interesse económico da sua exploração [38], [39] .

Apesar de preferir solos soltos e permeáveis em zonas com clima ameno, o sobreiro adapta-se muito bem numa grande variedade de condições. Os frutos são bolotas que podem ser utilizadas no alimento do gado [6].

A grande área de sobreiro existente em Portugal eleva o país como principal produtor mundial de cortiça utilizada na forma de rolhas, isolante térmico ou acústico, acessórios de moda, entre outros [35].

O sobreiro foi instituído como Árvore Nacional de Portugal e é uma espécie protegida pela legislação portuguesa desde 2001 e, atualmente, é a 2^a espécie mais representativa no país [35]. Ocupa cerca de 737 mil hectares, 23% dos povoamentos florestais, localizados, maioritariamente, na região do Alentejo e possuindo, aproximadamente, 52% dos povoamentos com áreas superiores a 10 hectares [3], [35].

O sobreiro forma povoamentos denominados montados onde existem em consociação com uma cultura agrícola ou pastagem [35]. Segundo o 5º Inventário Florestal Nacional [36], a densidade média dos povoamentos florestais de sobreiro é

⁷ Refere-se ao sistema silvicultural que se aproveita da rebentação de gomos dormentes a partir do tronco após o corte da árvore original junto ao solo [76].

de 47 árvores/hectare em povoamentos dominantes e o volume de árvores existentes corresponde a $24.773 \times 10^3 \text{ m}^3$.

O Pinheiro-bravo

O pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) tem destaque na indústria madeireira e mobiliária, na produção de resina e na indústria da pasta e papel. É uma árvore característica do Mediterrâneo Ocidental [40]. Através de vestígios arqueológicos e geológicos, estima-se a presença do pinheiro-bravo em solo português há, pelo menos, 33000 anos [35]. Esta espécie pode atingir 40 m de altura, embora raramente ultrapasse os 25 m. A sua copa tem uma forma piramidal, as folhas são agulhas que se mantêm verdes durante todo o ano e as sementes são pequenos pinhões que crescem dentro de pinhas [6].

Segundo o 6º Inventário Florestal Nacional [3], o pinheiro-bravo é a terceira espécie dominante no país, ocupando cerca de 714 mil hectares, 23% dos povoamentos florestais. Já foi a principal espécie em Portugal Continental, estimando-se, em 1995, 977 mil hectares. A maior parte das áreas ocupadas por pinheiro-bravo deu lugar a povoamentos de eucalipto – espécie de maior interesse para a indústria da pasta e papel.

Os povoamentos de pinheiro-bravo como espécie dominante concentram-se ao Norte e Centro do país, sendo que a maior parte possui áreas inferiores a 10 hectares [35]. A densidade média dos povoamentos florestais de pinheiro-bravo é de 361 árvores/hectare em povoamentos puros e de 226 árvores/hectare em povoamentos dominantes e o volume de árvores existentes é de $85.756 \times 10^3 \text{ m}^3$ [36].

3.2 Uso do solo em Portugal Continental

A floresta ocupa 35% do território nacional [3]. Conforme pode ser observado no Gráfico 3, as regiões do Alentejo, Centro e Norte concentram as maiores áreas florestais. Os matos e pastagens também têm grande relevância na ocupação do solo, cerca de 32% [3]. As espécies de matos mais comumente encontradas na floresta portuguesa são a giesta (*Cytisus spp.*, *Genista spp.*, *Spartium spp.*), urze (*Erica spp.*, *Calluna spp.*), tojo (*Ulex spp.*), esteva (*Cistus ladanifer*) e carqueja (*Pterospartum tridentatum*).

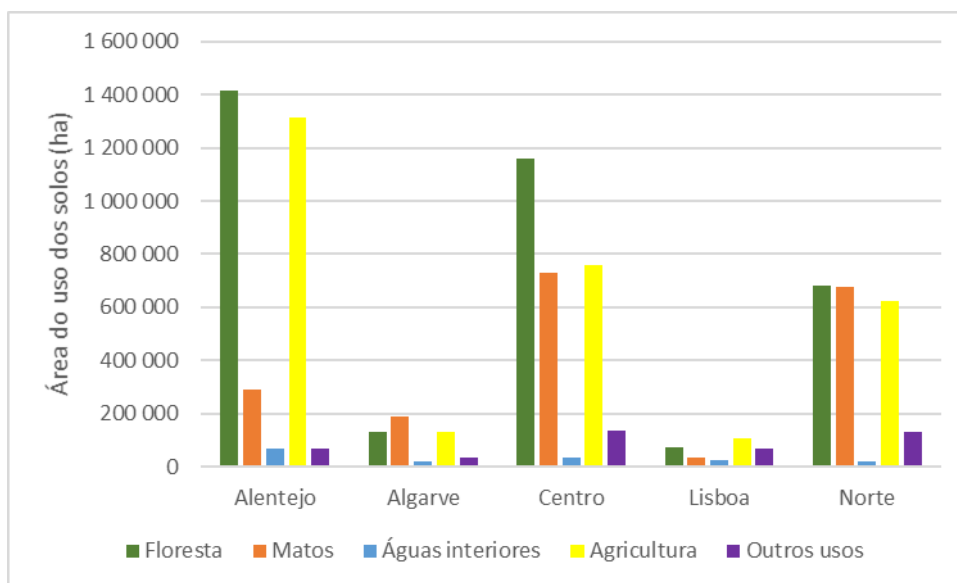


Gráfico 3: Área do uso dos solos em Portugal Continental por NUTII (Adaptação dos dados do IFN5 [36])

A principais espécies florestais do país – eucalipto, sobreiro e pinheiro-bravo – são encontradas por todo território. Entretanto, algumas têm importâncias relativas distintas de região para região, segundo consta no Gráfico 4. O eucalipto e pinheiro-bravo estão maioritariamente distribuídos nas regiões Norte e Centro do país. No Sul, predomina o sobreiro.

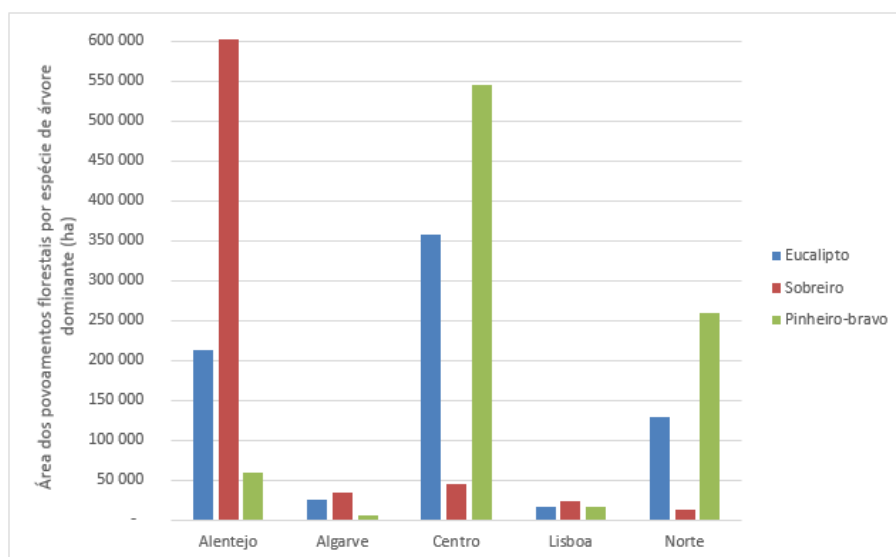


Gráfico 4: Área dos povoamentos florestais por espécie de árvore dominante (adaptação dos dados do IFN5 [36])

3.3 O relevo e o uso do solo por níveis de altitude

Em Portugal Continental predominam áreas de baixas altitudes, com mais de 70% do território abaixo dos 400 m e menos de 12% acima dos 700 m [41]. O Norte

do rio Tejo caracteriza-se por ser uma região montanhosa onde se concentram as áreas do país com altitudes superiores a 400 m e declives mais acentuados, conforme ilustrado na Figura 10. No Sul, ao contrário, predominam terras baixas e aplanadas. O Gráfico 5 mostra a distribuição das áreas florestais por nível de altitude nas diferentes regiões do país.

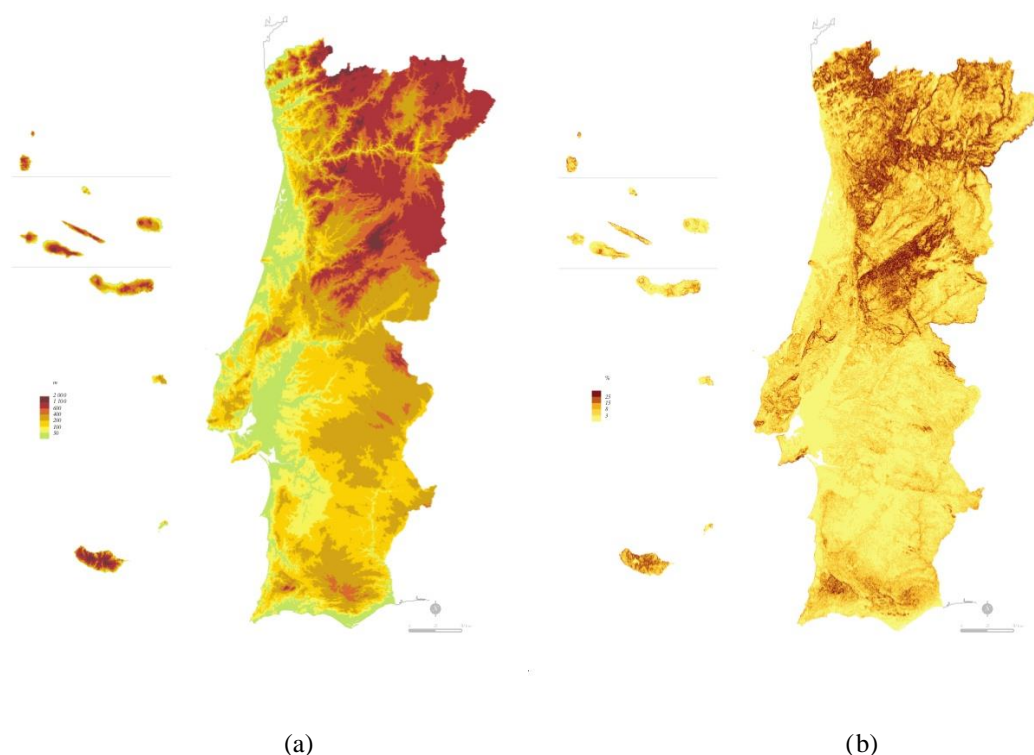


Figura 10: (a) Carta hipsométrica (b) Carta de declive [42]

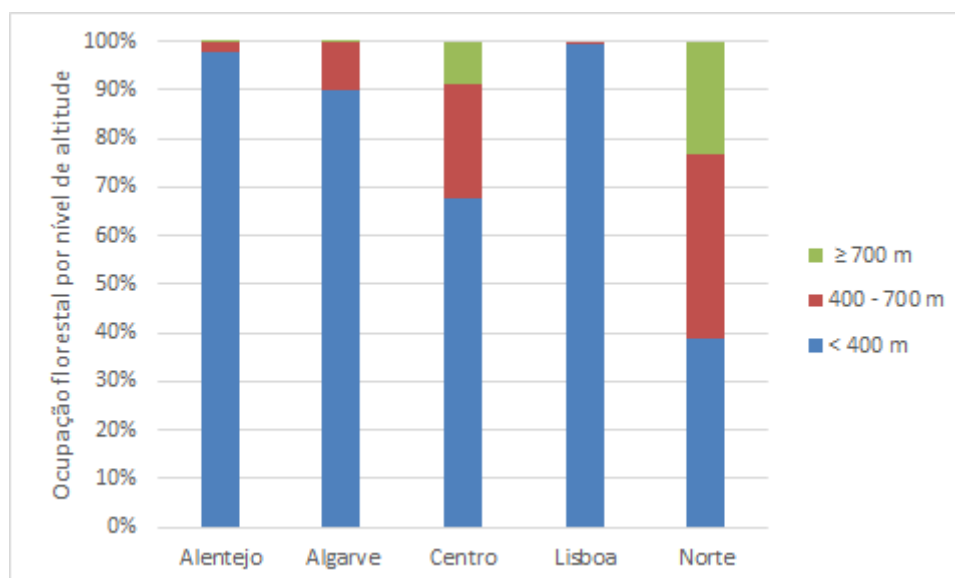


Gráfico 5: Ocupação florestal por nível de altitude (adaptação dos dados do IFN5 [36])

O Alentejo concentra a maior área de florestas do país, cerca de 1,4 milhão de hectares, sendo que 98% encontram-se em altitudes inferiores a 400 m. Esta região destaca-se nos povoamentos florestais de sobreiro, azinheira e eucalipto.

A região Centro engloba, aproximadamente, 1,2 milhão de hectares de áreas florestais onde predominam o pinheiro-bravo, eucalipto e os carvalhos. A maioria dos povoamentos florestais encontram-se em níveis de altitude inferiores a 400 m. Entretanto, há uma parcela significativa situada a níveis mais altos (Gráfico 6).

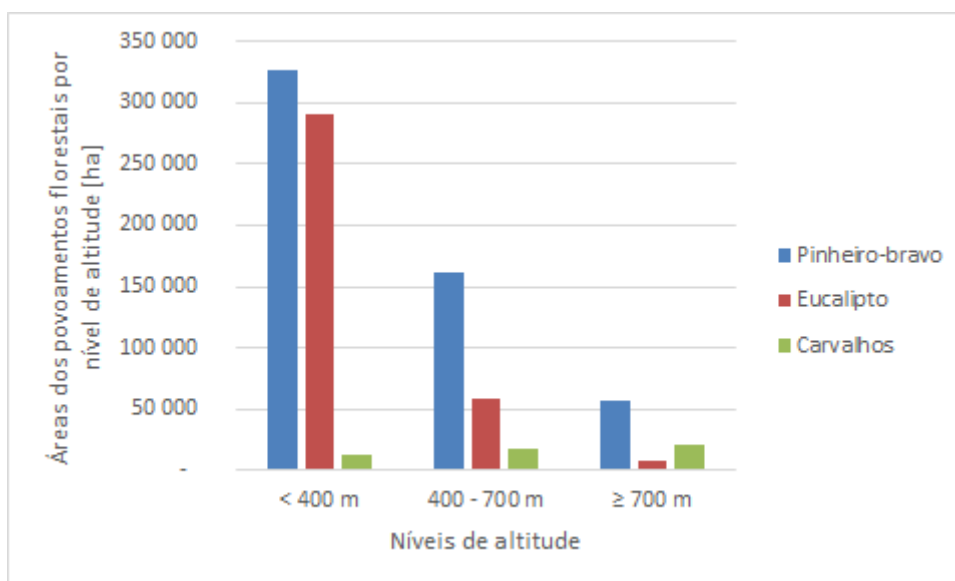


Gráfico 6: Área dos povoamentos florestais por nível de altitude NUTII Centro (adaptação dos dados do IFN5 [36])

O Norte do país também compreende grande parte de áreas florestais, ao redor de 680 mil hectares, realçando os povoamentos de pinheiro-bravo, eucalipto e carvalhos. Nesta região, a maior parte dos povoamentos de pinheiro-bravo, carvalho e uma fração considerável dos eucaliptais localizam-se em níveis de altitude superiores a 400 m (Gráfico 7).

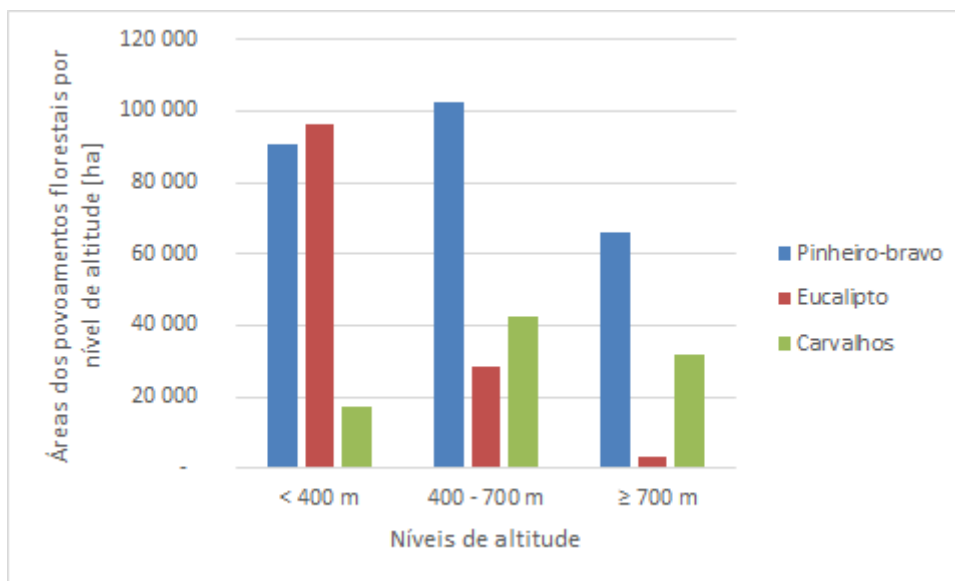


Gráfico 7: Área dos povoamentos florestais por nível de altitude NUTII Norte (adaptação dos dados do IFN5 [36])

As regiões do Algarve e Lisboa não são muito expressivas em áreas florestais quando comparadas às restantes do país. Possuem, somadas, quase 205 mil hectares de florestas. Abrigam, principalmente, eucaliptais, sobreirais e pinhais. Não há relevância numérica dos povoamentos em altitudes mais altas.

3.4 Propriedade e proprietário florestal

Em oposição à maioria dos países do mundo, a propriedade florestal em Portugal é predominantemente privada, cerca de 85%. Os baldios ocupam 13% e apenas 2% das áreas florestais pertencem ao Estado (Gráfico 8) [4].

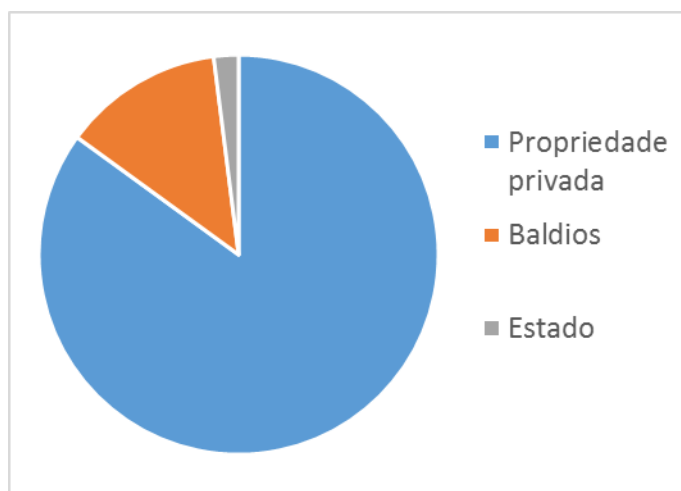


Gráfico 8: Regime da propriedade florestal

Aproximadamente 77% da propriedade florestal privada é detida por pequenos proprietários de cariz familiar e 8% é do domínio da indústria [43]. Nota-se uma grande diferença da estrutura das propriedades florestais ao longo do território português. Ao Norte do rio Tejo, prevalecem proprietários com pequenas parcelas de áreas florestais onde predominam os pinhais e eucaliptais para a produção de lenho. No Sul, contrariamente, verifica-se a existência de propriedades florestais de grandes dimensões, de domínio do sobreiro e azinheira, associadas às atividades agrícolas, silviculturais e pastorícia. Segundo COELHO [44], esta disparidade na estrutura da propriedade florestal relaciona-se com fatores históricos, socioeconómicos e, também, pelas características fisiográficas de cada região.

A dimensão dos povoamentos é um fator chave no contexto da floresta portuguesa, com repercussões importantes na rentabilidade e sustentabilidade da atividade. Estima-se que 61% dos proprietários florestais a nível nacional possuem áreas inferiores a 5 ha, o que corresponde a 26% da área florestal [35]. De acordo com o 5º Inventário Florestal Nacional [36], nas áreas florestais do Norte e Centro do país prevalecem os povoamentos com menos de 10 ha (Gráfico 9). Com particular interesse nas principais espécies destas regiões, tem-se que:

- No pinheiro-bravo, 63% dos povoamentos estão em áreas inferiores a 10 ha e 25% em áreas inferiores a 2 ha;
- No eucalipto, 50% dos povoamentos estão em propriedades com dimensões inferiores a 10 ha.

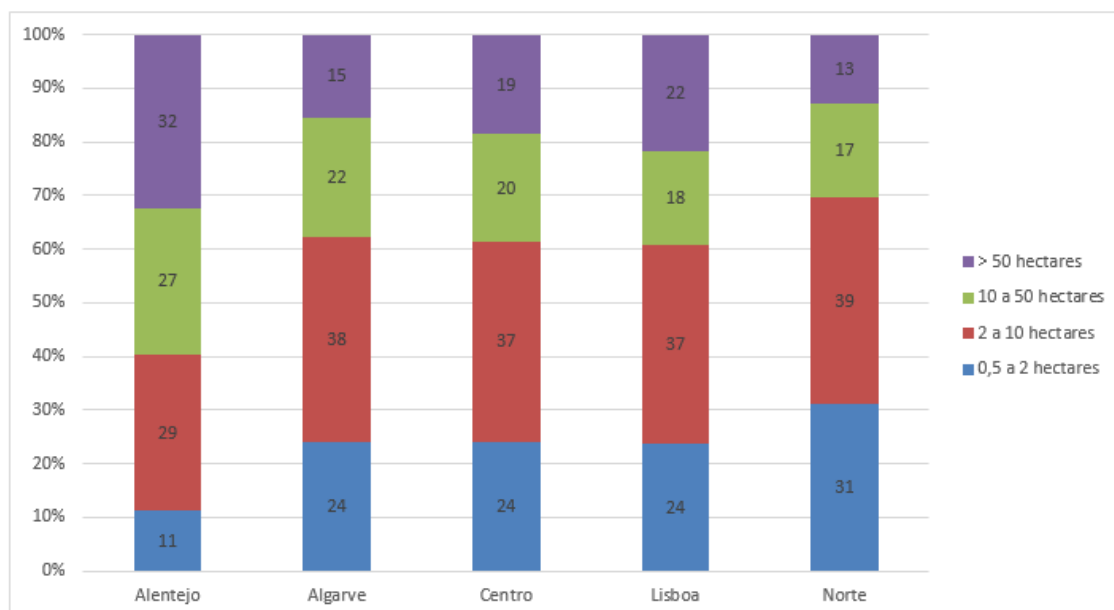


Gráfico 9: Áreas dos povoamentos florestais por classes dimensão por NUTII (Adaptação dos dados do IFN5 [36])

BAPTISTA & SANTOS [45], verificaram que a grande parte dos proprietários florestais eram do sexo masculino, idosos, reformados e que os produtos e serviços mais recorrentes eram a madeira e cortiça. Estabeleceram uma tipologia de proprietários florestais com o objetivo de identificar e caracterizar as diferentes formas de gestão da propriedade, sendo elas:

- **Propriedade-reserva:** os proprietários não investem, não realizam intervenções produtivas e poucos possuem contabilidade ou registo organizado de receitas e despesas. A propriedade não representa ganhos regulares para o proprietário e nem sua fonte principal de rendimento. São, geralmente, de muito pequena dimensão – inferiores a 1 ha – em que predominam as espécies de pinheiro-bravo.
- **Trabalho-reserva:** os proprietários florestais não investem, realizam intervenções produtivas, efetuam a manutenção, mas a maioria não possui registo contabilístico. São propriedades pequenas – inferiores a 5 ha – onde destacam-se o pinheiro-bravo e castanheira.
- **Investimento-reserva:** os proprietários florestais obtêm produção, investem e produzem madeira e cortiça. Cerca de 25% auferem rendimento regular da floresta. As propriedades são de média-dimensão – 5 a 10 ha – com predomínio de eucalipto.
- **Exploração-reserva:** as propriedades são conduzidas ou como explorações florestais, onde se trabalha, se investe e se garante um acompanhamento estreito, mas onde os proveitos não contribuem muito para o rendimento total, ou tendem a ser reservas, de onde é possível, quando necessário, retirar dinheiro ou produtos. Em geral, são propriedades médias – entre 5 a 20 ha – em que predomina o eucalipto.
- **Empresa florestal:** os proprietários investem e realizam manutenção. A proporção do rendimento obtido nestas explorações é maior do que em qualquer um dos outros tipos, sendo obtido de forma regular para muitos proprietários. Caracterizam-se por propriedades grandes – superiores a 20 ha – com exploração de sobreiro e azinheira.

Um estudo de CANADAS & NOVAIS [46], que analisa as dimensões socioeconómicas que concorrem para a diferenciação dos padrões de práticas de gestão dos proprietários florestais, ilustra os modos de organização da limpeza de matos organizando-o em 3 grupos distintos:

- **Floresta sem limpeza:** elevada presença e concentração dos proprietários que não executam a limpeza de mato.
- **Floresta com limpeza manual e familiar:** os proprietários que organizam a limpeza de mato sem equipamento motorizado e com recurso a trabalho principalmente familiar.
- **Floresta com limpeza externalizada ou motorizada:** os proprietários subcontratam a limpeza de mato ou que organizam esta operação com recurso principalmente ao seu próprio trator e a trabalho assalariado.

Segundo o estudo, cerca de 41% dos territórios pertencem ao grupo *Floresta sem limpeza* que, predominantemente, não efetuam a limpeza dos matos ou, quando a realizam, fazem, principalmente, de forma manual ou com uso de motorroçadora própria recorrendo ao trabalho próprio ou familiar.

Concluiu-se que “os territórios da Floresta com limpeza externalizada ou motorizada ficam associados a contextos socioeconómicos que se caracterizam, em média, por maiores áreas florestais, por proporções maiores da área florestal detida por sociedades ou por uma agricultura com trabalho mais externalizado ou assalariado ou com sistemas de produção mais extensivos. Pelo contrário, os territórios da Floresta com limpeza manual e familiar associam-se a contextos com maior peso da família no trabalho agrícola que gera rendimentos unitários da terra mais elevados ou com propriedades florestais de muita reduzida dimensão. Por último, os territórios da Floresta sem limpeza compartilham valores intermédios daqueles atributos. Por exemplo, aproximam-se dos territórios Floresta com limpeza manual e familiar quanto ao cariz predominantemente familiar da sua agricultura e à dimensão média da propriedade florestal, mas afastam-se por observarem rendimentos da terra agrícola e densidades demográficas, em média, consideravelmente mais baixas. [46]”

A presença de elevadas propriedades florestais de pequenas dimensões – geralmente caracterizadas pela ausência de investimento e com uma gestão de acordo com as necessidades conjunturais económicas dos proprietários – dificultam a implementação de políticas de prevenção e redução dos riscos bióticos e de incêndios.

3.5 Espaços florestais ardidos

Os incêndios florestais em Portugal são um fenómeno recorrente responsável por perdas ambientais, ecológicas e económicas. Estima-se, no período entre 2001-2013, cerca de 1,8 milhão de hectares de áreas ardidas [47]. A análise do período para as três principais espécies florestais do país, conforme representado no Gráfico 10, permite concluir que o pinheiro-bravo foi a espécie mais afetada com 287 mil ha ardidos (16%), seguida pelo eucalipto com 238 mi ha (13%) e pelo sobreiro com 66 mil ha (4%). As áreas de matos e pastagens foram as mais atingidas, correspondendo a 862 mil hectares ou 48% do total.

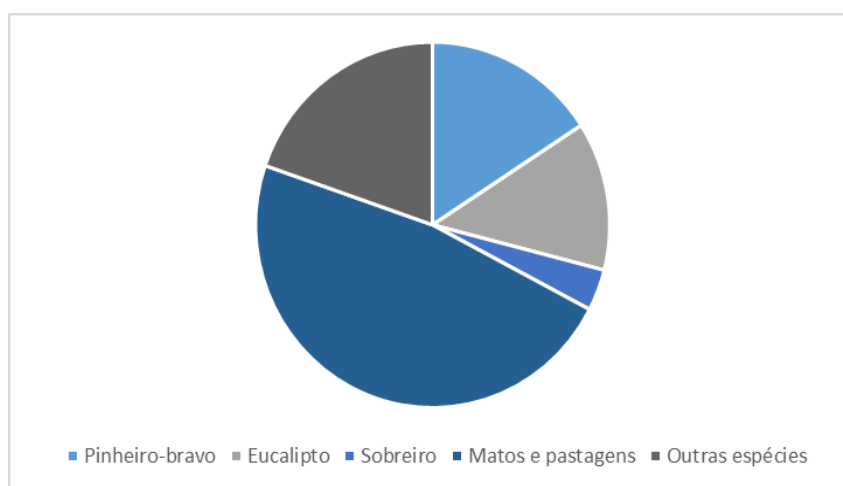


Gráfico 10: Áreas ardidas por tipo de ocupação do solo 2001-2013 (Adaptação dos dados fornecidos pelo ICNF [47])

Constata-se, no período, uma média de 22 mil ha/ano de áreas de pinheiro-bravo ardidas e 18 mil ha/ano de eucaliptais. Entretanto, em 2003 e 2005 ocorreram incêndios florestais considerados atípicos e responsáveis pela elevada quantidade de povoamentos florestais atingidos.

As regiões Norte e Centro do país são as mais afetadas pelos incêndios florestais. Possuem grandes áreas de povoamentos florestais e de matos e caracterizam-se por um terreno acidentado, elevando, dessa forma, a propensão para a ocorrência de incêndios.

ARANHA *et al.* [48] verificaram que, no período de 1990-2009, mais de 68% dos fogos florestais ocorreram no Norte do país. Concluíram que arderam, aproximadamente, 6,7 milhões de toneladas de matos que seriam capazes de abastecer

uma central termoelétrica a biomassa florestal durante 75 anos na produção de 11 MW. Num cenário mais conservador, onde somente 50% desta biomassa pudesse ser retirada em condições economicamente viáveis, estimaram o abastecimento de 2 centrais de 11 MW.

3.6 Combustíveis florestais

A combustibilidade de uma espécie vegetal depende de suas características. Entre as espécies arbustivas mais abundantes em Portugal – normalmente designadas por matos – a carqueja, esteva e o tojo são as mais combustíveis. Segue-se as urzes, giestas e piorno num grupo intermédio e, num grupo mais resistente ao fogo, há os carrascos, folhados e medronheiros. O estrato herbáceo, também muito abundante no país, arde mais facilmente e é responsável pela facilidade da ignição dos combustíveis florestais e pela velocidade de propagação de um incêndio florestal [13].

VIEGAS [49] estimou a quantidade média de combustíveis florestais existente no terreno, por estar relacionada com a energia liberada durante um incêndio e, portanto, com a menor ou maior facilidade em extingui-lo (Tabela 3).

Tabela 3: Quantidade média de combustíveis florestais (adaptação da fonte [11])

Espécie	Quantidade [ton/ha]
Herbáceas	6 a 10
Urze	15 a 22
Tojo	10 a 80
Carrasco	15 a 55
Medronheiro	30 a 60
Torga	15 a 45

Dentre as espécies florestais predominantes em solo português, o sobreiro, apesar de bastante inflamável, tem elevada resistência ao fogo graças a cortiça que é um excelente isolante térmico e retarda a combustão. O pinheiro-bravo caracteriza-se por ser uma espécie resinosa muito inflamável e sua recuperação após um incêndio depende da intensidade do fogo que, se destruir mais de metade da copa, diminui a probabilidade de sobrevivência. Já o eucalipto é uma espécie adaptada ao fogo e tem

uma recuperação rápida a partir de poucas semanas após um incêndio. Entretanto, também é muito inflamável [6].

Salienta-se o fato de que os povoamentos florestais associados à existência de vegetação herbácea e arbustiva de grande inflamabilidade aumentam a intensidade ou extensão das áreas ardidas.

4 Tecnologias para a limpeza das florestas

A gestão dos combustíveis é fundamental na prevenção dos incêndios florestais. Neste aspeto, deve-se advertir para a necessidade de efetuar a limpeza e recolha da vegetação espontânea e dos resíduos gerados na atividade florestal.

Os equipamentos mais comuns na limpeza de matos é o corta-matos e a grade de discos. Entretanto, apresentam algumas limitações quanto ao seu uso, conforme visto no capítulo 2 (página 18). Em alternativa, é frequente a utilização de motorroçadoras no corte da vegetação natural, sobretudo, por proprietários de áreas florestais de pequena dimensão.

A recolha dos resíduos provenientes do abate da madeira é dependente do sistema de colheita utilizado. No sistema *full-tree* (árvores inteiras), a madeira é processada no carregadouro e, portanto, a floresta fica livre de resíduos. Como o processamento das árvores é feito num único ponto, a recolha dos sobrantes da colheita torna-se mais fácil. Neste caso, é habitual recorrer a picadores ou trituradores (Figura 11). Os atuais modelos são dotados de garras para recolha dos restos florestais e, após estilhaçamento, têm a possibilidade de efetuar o depósito diretamente em camiões próprios para armazenagem e transporte deste material. Já nos sistemas *cut-to-length* (madeira torada) e *tree-length* (troncos inteiros), os ramos, cascas e bichas são deixados na área florestal, sendo, nestes casos, necessária a extração dos mesmos até o carregadouro. Geralmente, há duas opções a se seguir: ou faz-se uso de um triturador rebocado em trator e efetua-se a trituração dos resíduos simultaneamente à recolha; ou efetua-se a chegada dos resíduos com, por exemplo, o *forwarder* (trator transportador) até o carregadouro onde serão tratados de forma similar ao sistema *full-tree* (árvores inteiras).



Figura 11: Triturador horizontal VERMEER HG400 [50]

De forma a explorar outras soluções mecanizadas para o corte da vegetação espontânea, verificou-se a existência de novas opções para a limpeza florestal capazes de operar em terrenos com elevada declividade – situação recorrente no Norte de Portugal. Os sistemas telecomandados são um exemplo (Figura 12). Estes equipamentos podem ser utilizados em áreas íngremes com inclinação máximas entre 50° - 55° [51]–[53]. O diferencial desses mecanismos, além do aumento da produtividade, é o fato de a operação ser realizada através de controlo remoto.



Figura 12: Corte de vegetação espontânea através de sistema telecomandado AS 750 RC [51]

Estes sistemas de corte apresentam, geralmente [51]–[53]:

- Peso de 330 – 335 kg;
- Dimensões, em média, de 165 –185 cm de comprimento, 87 – 143 cm de largura e 58 – 92 cm de altura;
- Baixo centro de gravidade, aproximadamente, 20 cm acima do nível do solo
- Largura de corte por volta de 75 cm.

SOUZA [54] destaca como potencial tecnologia no controle da matocompetição o uso de roçadoras com duplo sistema de discos cortantes acoplados a sistemas

hidráulicos de tratores ou outros equipamentos capazes de vencer a declividade acentuada (Figura 13). Estas roçadoras tornam-se interessantes porque deslocam sua direção quando em contato com um tronco ou caule. A solução permite, numa única passagem, cortar desde o espaço entre linhas à vegetação nas linhas.



Figura 13: Roçadora [54]

Outra alternativa é o uso de um trator-roçadora (Figura 14) que, conforme aponta SOUZA [54], opera em terrenos com até 34° de declividade. O eixo traseiro do trator corrige a inclinação quando a operação é executada paralela às curvas de nível.



Figura 14: Trato-roçadora em terreno inclinado [54]

Objetivando o aproveitamento da vegetação herbácea e arbustiva, seja no abastecimento de centrais termoeletricas ou na conceção de outros produtos de valor acrescentado, as técnicas de corte seriam mais eficientes se os resíduos gerados ficassem dispostos em pilhas ou cordões para favorecer a recolha. Os equipamentos até então vistos efetuam o corte de forma contínua e a matéria vegetal fica dispersa na área florestal. Isto acarreta a necessidade de novas operações para acumular esta biomassa que pode, ainda, misturar-se com sujidades, como terra ou pedras. Neste

âmbito, verificam-se dois outros mecanismos que promovem o corte considerando a posterior extração dos resíduos florestais para valorização.

O primeiro equipamento, por intermédio de sistemas mecânicos acionados hidráulicamente, efetua o corte contínuo e, em seguida, acondiciona a biomassa em forma de cordões (Figura 15). Além das lâminas de corte, utiliza um rolo com dentes para arrastar a biomassa para o seu interior e de um segundo rolo por onde ela sai devidamente acondicionada. A estrutura, capaz de trabalhar nas mais diversas condições de terreno, é indicada para o corte de arbustos de até 50 mm de diâmetro e deve ser interligada a um trator [55], [56].



Figura 15: Máquina de corte e acondicionamento de plantas lenhosas [56]

O segundo equipamento refere-se a um instrumento de limpeza de matos através da extração seletiva de arbustos desde a raiz (Figura 16). A ferramenta incorpora a vegetação lenhosa para o seu centro, procede com o aperto e arranque, armazena a biomassa e, posteriormente, faz a descarga deste material em local pretendido pelo utilizador. O mecanismo é indicado, principalmente, para adaptação em escavadoras giratórias de pequena dimensão [57].

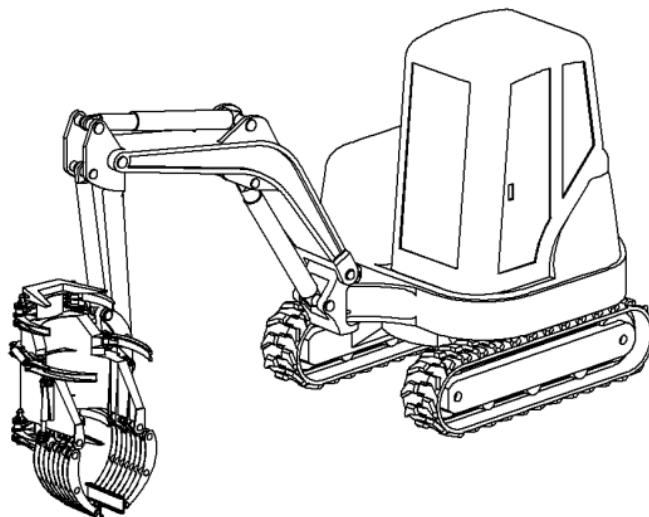


Figura 16: Esquema representativo do equipamento acoplado a braço de escavadora [57]

Julga-se que, para o corte da matéria vegetal invasora, alguns requisitos devem ser cumpridos (Figura 17): o sistema adotado deve ter uma utilização facilitada, requerendo pouco treinamento da mão-de-obra; baixo custo de investimento e manutenção; ofereça segurança para o utilizador e seja fácil de transportar.

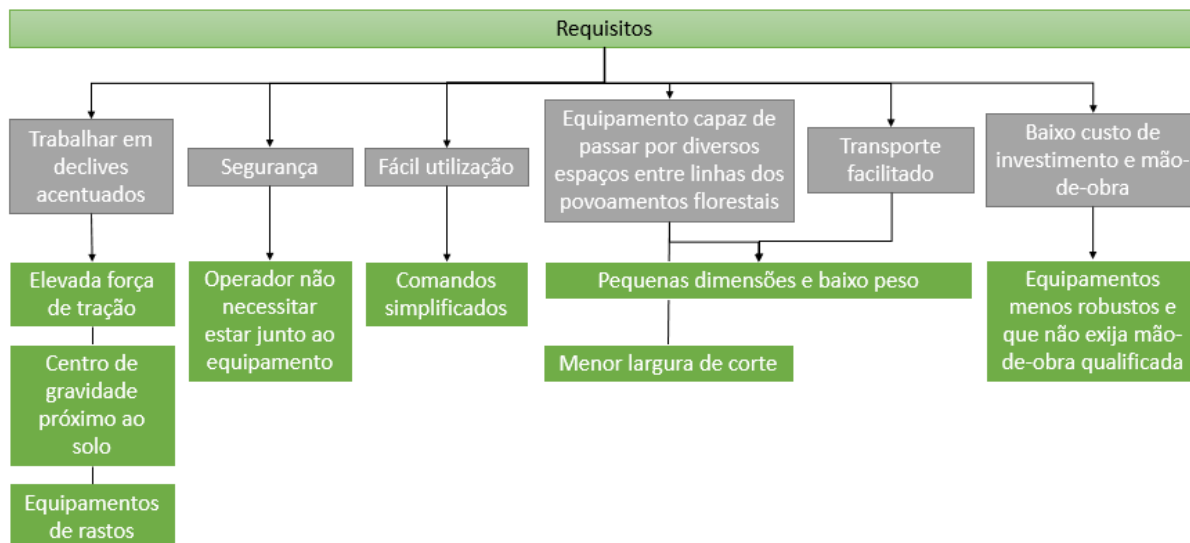


Figura 17: Requisitos necessários para o equipamento de corte (FONTE: Autora)

Visto isto, a tecnologia mais interessante trata-se dos sistemas telecomandados, já que têm baixo peso e pequenas dimensões que facilitam o seu transporte e permitem a sua passagem em povoamentos florestais com menores distância entre linhas; são guiados à distância, garantindo a segurança de quem está manuseando, principalmente, quando se trabalha em terrenos de declives acentuados; possuem centro de gravidade próximo ao solo, possuindo maior estabilidade, e são equipamentos economicamente

mais viáveis para o pequeno e médio proprietário relativamente a outros mais robustos comuns na atividade. Para a solução da problemática da vegetação que se mantém dispersa pela área florestal, propõe-se que estes mecanismos sejam construídos como máquina base, servindo como fonte de deslocamento e força propulsora, e que permitam o acoplamento de acessórios, quer o instrumento de corte, quer uma ferramenta que possibilite o acúmulo dos resíduos para uma recolha eficaz, como uma lâmina frontal capaz de efetuar o arraste da matéria vegetal.

No que concerne à recolha do mato após o corte, as soluções mecânicas passam pelo uso de *forwarder* (trator transportador) ou pela adaptação aos tratores com guias e reboque ou atrelados (Figura 18). O *forwarder* é uma alternativa, mas, por ser um equipamento mais caro, seria indicado para remoção dos resíduos gerados na colheita da madeira, já que é um equipamento comumente presente nessa atividade.



Figura 18: Trator com reboque florestal e grua [19]

Em áreas florestais de elevada declividade, os tratores de rastros apresentam vantagem relativamente aos tratores de rodas por terem maior área de superfície de apoio do sistema de locomoção e menor distância do centro de gravidade em relação ao solo, trazendo mais estabilidade [58].

Em relação ao tratamento dado aos resíduos florestais, ou seja, se serão triturados em campo, em carregadouro ou na indústria, deve-se ter em consideração se há a possibilidade de aquisição de um novo equipamento (trituradores ou picadores). Claramente, efetuar o transporte dos resíduos já estilhaçados para a unidade

consumidora é mais proveitoso em termos de densidade de material transportado nos camiões. Entretanto, nem sempre isto é possível, ou por razões económicas em obter um equipamento adicional, ou, até mesmo, pela impossibilidade de alocar tais equipamentos no espaço florestal e/ou carregadouro.

Por fim, o transporte, realizado com camiões, necessita de garantir o limite de carga estabelecido para o equipamento e pelas leis regulamentadoras. A biomassa pode ser transportada em contentores de armazenamento, quando estilhaçada, ou, então, fixada nos camiões por cabos, cintas ou cordas para garantir que estejam fixas e não se desloquem ou desprendam-se durante o trajeto.

Verifica-se, portanto, a existência de diversos equipamentos úteis e de tecnologias interessantes para o trabalho florestal (Figura 19). Cabe ao proprietário e/ou indústria madeireira analisar a situação mais favorável para si em termos de custo vs. rendimento na implantação de sistemas mecanizados em substituição da operação manual ou semi-mecanizada. Sempre que possível, essa substituição demonstra ser vantajosa tanto na produtividade quanto na segurança dos trabalhadores envolvidos.

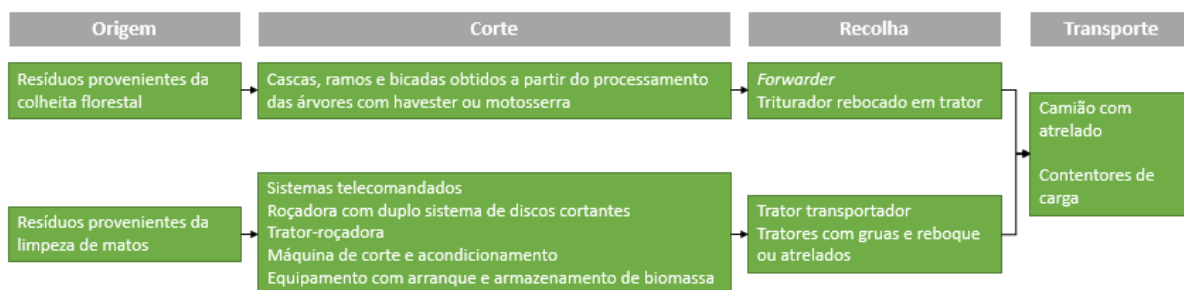


Figura 19: Resumo dos equipamentos envolvidos recolha de resíduos florestais (FONTE: Autora)

5 Potencial valorização dos resíduos e subprodutos florestais

No intuito de estimular o crescimento do setor florestal como um todo e, também, numa visão ecológica e sustentável, verifica-se a existência de muitos estudos promissores que abordam diversas formas de valorização dos resíduos florestais. Apesar das soluções atuais mais comuns passarem pela geração de energia através da queima em centrais térmicas por diferentes tecnologias de conversão, tem-se como objetivo incentivar a investigação de novas perspetivas para obtenção de produtos de valor acrescentado a partir dos resíduos florestais mais correntes em Portugal.

Hoje em dia, é comum que os resíduos florestais sejam utilizados em processos de compostagem onde há o reaproveitamento da casca de toros e madeira de serradura para a produção de adubo orgânico [59].

A indústria está muitas vezes associada à emissão de odores que perturbam ou causam desconforto à população que vive ao seu redor, como, por exemplo, estações de tratamento de resíduos, indústrias alimentares, indústria da pasta e papel, etc. TEIXEIRA [60] estudou, em escala laboratorial, o uso de casca de eucalipto, giesta e tojo como materiais de enchimento de biofiltros para desodorização de gases oriundos dos processos de compostagem. Concluiu que a giesta e o tojo são materiais promissores no que concerne às suas capacidades e propriedades de adaptação a processos de biodesodorização. Para SILVA [61], a carqueja e o engaço de uva são outros dois materiais a serem considerados em biofiltros na remoção de compostos odoríferos.

Sabendo-se da abundância destas matérias-primas em Portugal e de outros resíduos de origem florestal, também abundantes, como a casca do pinheiro, a urze, a madeira de eucalipto oriunda da operação de monda ou da esteva, surge, como

possível tecnologia, a utilização destes materiais para a purificação do ar e, portanto, sugere-se que sejam estudadas a suas potencialidades a nível industrial na constituição de biofiltros, tendo, assim, uma solução alternativa de valorização.

Sabe-se que o Brasil é um dos grandes produtores de bioetanol, a partir da cana-de-açúcar, muito utilizado nos veículos em substituição aos combustíveis derivados do petróleo. Na busca de novas fontes de matéria-prima para a produção de biocombustíveis, a casca do eucalipto, resíduo gerado na exploração florestal, torna-se uma opção. Segundo a pesquisa realizada por BRAGATTO [62], *“a produção de etanol a partir dos açúcares solúveis presentes na casca de eucalipto pode se tornar viável, pois os altos incrementos de massa que o eucalipto possui ($41 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$), faz com que esta cultura gere milhões de toneladas de resíduos anualmente, desta forma, ao final do ciclo da madeira, em média 7 anos, são produzidas 15 toneladas por hectare de casca de eucalipto com altas concentrações de açúcares solúveis [62].”*

O estudo estima que cada tonelada de resíduo é capaz de gerar 200 kg de açúcares que podem produzir cerca de 100 litros de etanol [62]. Partindo deste princípio e sabendo que o eucalipto é a principal espécie florestal em Portugal, torna-se viável averiguar a potencialidade da casca de *Eucalyptus globulus* na obtenção de bioetanol.

Vale ainda ressaltar a ideia de biorrefinarias a partir de materiais lignocelulósicos de onde se extraem diversos produtos, sejam eles químicos, combustíveis ou materiais. É uma nova perspetiva de valorização investigar o uso dos resíduos florestais abundantes em Portugal neste conceito.

O Projeto BioBlock [63] visa a conceção de produtos de base biológica como precursores para a bioindústria de síntese química e de biomateriais a partir de fontes renováveis lenhocelulósicas. Neste contexto, os resíduos da indústria de celulose e da floresta, após as operações de colheita, são fontes mais baratas de biomassa e têm em sua composição celulose, hemicelulose e lenhina. A partir da extração da lenhina e de xaropes de açúcar, são múltiplos os produtos que podem ser gerados, das quais citam-se [63]:

- Bioetanol
- Ácido láctico para produção de bioplásticos (PLA - Ácido Poliláctico)

- Celulose bacteriana com uso promissor em aplicações biomédicas e cosméticas
- Espumas de poliuretano à base de lenhina para utilização na indústria automóvel ou construção civil
- Colas à base de lenhina

A casca do eucalipto é rica em compostos fenólicos. Para MOTA [64], a casca de *Eucalyptus globulus* tem grande potencial na extração destes compostos com atividade antioxidante. Para a autora, *“Considerando uma produção anual de casca de cerca de 45 mil ton (para uma unidade industrial com capacidade para 500 mil toneladas de pasta) pode obter-se cerca de 900 ton de material de origem fenólica com atividade antioxidante [64].”*

SILVA [65] demonstrou a possibilidade de aproveitamento da casca de eucalipto como fonte de taninos para a produção de adesivos. Segundo o estudo, *“Além de diminuir a demanda de petroquímicos pelas indústrias de adesivos, o uso de taninos viabiliza o uso mais racional do produto da floresta pela indústria madeireira, possibilitando o aumento do retorno económico na atividade florestal e a geração de produtos de maior valor agregado [65].”*

No seguimento das perspetivas de valorização da casca de eucalipto, DOMINGUES [66] evidenciou a extração de ácidos triterpénicos a partir deste resíduo que podem encontrar aplicações na indústria cosmética, farmacêutica e nutrição humana e animal.

Outra questão a se levantar refere-se à utilização de fibras naturais para a conceção de produtos têxteis. O estudo de COSTA *et al.* [67] abordou a extração da celulose do bagaço de cana-de-açúcar para a obtenção de fibras têxteis. Os resultados apontaram que estas fibras seriam interessantes para aplicações médicas, como, por exemplo, na absorção de secreções de ferimentos. Em Itália, existe um curioso processo artesanal em que há a extração manual de fibras de giesta utilizadas em máquinas de tecelagem para confeção de tecidos de roupas. Os resíduos florestais, ricos em celulose, podem tornar-se objeto de pesquisa para verificar a sua viabilidade na extração de fibras e na sua resistência, durabilidade e níveis absorção de água para aplicações na indústria têxtil.

No âmbito de materiais, surgem as fibras vegetais como reforço de fibrocimentos em substituições às tradicionais fibras de amianto – produto não renovável. Neste espectro, encontra-se uma variedade de matérias-primas, como, por exemplo, as fibras de sisal e bambu. Seguindo esta tendência, alguns estudos comprovam, com sucesso, o uso de resíduos de *Pinus spp* e *Eucalyptus spp* na fabricação de compósitos cimentícios para uso na construção civil [68]–[71]. Entretanto, para TONOLI [70], *“fibras de eucalipto apresentaram melhor dispersão na matriz cimentícia e forneceram maior densidade de fibras em massa ou volume, em relação às fibras de Pinus. As fibras curtas permitem um reforço efetivo da matriz frágil, diminuindo a propagação de trincas, o que contribui para o melhor desempenho mecânico dos compósitos após envelhecimento [70].”*

As sobras da cortiça, sob a forma de matéria-prima rejeitada ou o pó oriundo da indústria de transformação, também podem ser objeto de valorização. CORDEIRO [72] identificou as propriedades químicas e físicas da suberina, extraída dos desperdícios da cortiça, onde verificou duas distintas possibilidades de aplicação: uso como polioli para formação de poliuretanos na produção de novos materiais poliméricos e como aditivo de tintas de impressão offset sem solução de molhagem ou tintas vegetais. Para SOUSA [73], a *“utilização de suberina como um precursor de novos poliésteres alifáticos confirmou o elevado potencial deste recurso abundante e renovável como precursor para preparar materiais macromoleculares [73].”* EIRES & JALALI [74] propuseram a constituição de um aglomerado compósito de granulado de cortiça, subproduto da indústria corticeira, com propriedades que possibilitam aplicações em isolamento e revestimento de superfícies interiores.

Os recursos naturais têm um vasto leque de aplicações que vão desde à farmacológica à conceção de novos materiais (Figura 20). Fato este comprovado por inúmeras pesquisas que se verificaram no setor. No que concerne aos resíduos florestais lenhocelulósicos mais comuns em Portugal, são, por norma, ricos em celulose, hemicelulose e lenhina, que, conforme visto, são fontes para elaboração de outros produtos de interesse.

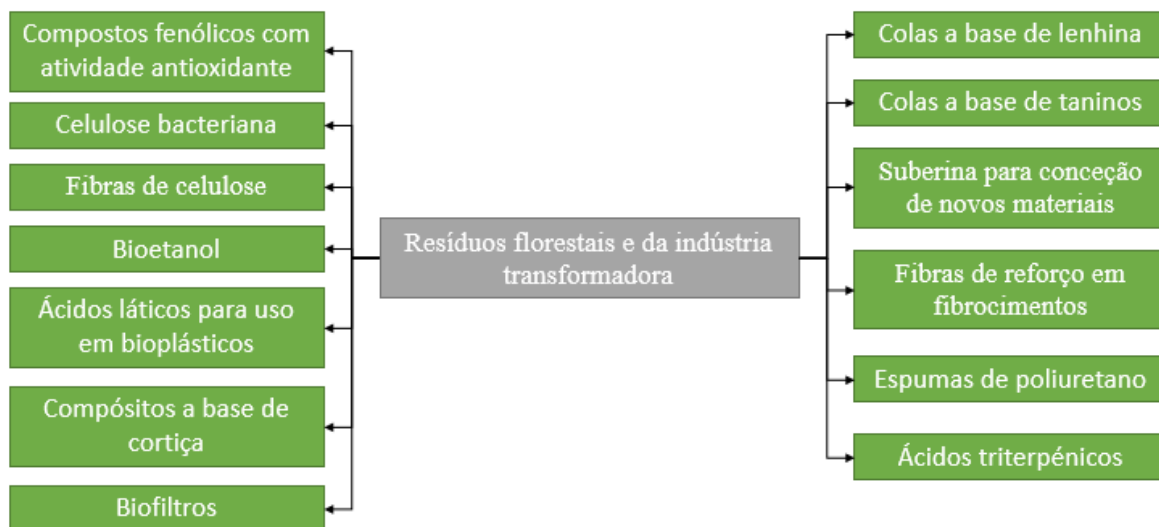


Figura 20: Resumo das potencialidades de valorização dos resíduos florestais (FONTE: Autora)

Propõe-se, assim, que, além do apoio à utilização da biomassa florestal para queima na geração energética, seja incentivado, cada vez mais, o desenvolvimento de novas alternativas para promover a valorização dos desperdícios florestais e sobrantes da indústria transformadora.

Acredita-se que, à medida que se possa beneficiar destes resíduos e tratá-los como matéria-prima, o proprietário florestal sinta-se motivado a cuidar da sua propriedade, efetuando a limpeza, já que, dessa forma, poderia vendê-los ao mercado consumidor.

6 Conclusão

As áreas florestais, quando tomadas pela vegetação natural, tornam-se grandes propulsoras para a propagação de incêndios pela continuidade vegetal e horizontal que apresentam. Este fato muitas vezes está ligado ao abandono do proprietário, que não faz a limpeza periódica dos matos, ou da indústria da madeira, que não efetua a recolha dos resíduos gerados na colheita florestal. Neste âmbito, torna-se possível a intervenção para a prevenção de novas ocorrências.

O país possui muitos recursos florestais que são explorados, principalmente, para a produção lenhosa, pasta de celulose, papel e cortiça. As principais espécies florestais, o eucalipto, sobreiro e pinheiro-bravo, são encontradas por todo território. Entretanto, em algumas regiões há maior destaque de determinado povoamento florestal. Como no Alentejo, por exemplo, onde se concentra o sobreiro; e o Centro e Norte, caracterizados pelas extensas áreas de eucaliptos e pinheiro-bravo. Estas duas últimas apresentam duas características peculiares: muitas áreas florestais em níveis de altitudes mais altos e elevada presença de propriedades de pequena/média dimensão.

No que concerne à limpeza da vegetação espontânea, viu-se que os métodos mecânicos atuais (corta-matos e grade de discos) apresentam limitações quanto a sua utilização. O fogo controlado e a aplicação de herbicidas, apesar de serem técnicas eficazes em diversas condições de topografia, não possibilitam o aproveitamento da biomassa florestal. Assim, após a pesquisa de outras soluções mecânicas, verificou-se que a utilização de sistemas telecomandados demonstram ser a melhor opção em comparação aos outros equipamentos analisados, visto que cumprem os requisitos que se entende como fundamentais.

No intuito de estimular o crescimento do setor florestal como um todo e, também, numa visão ecológica e sustentável, constatou-se novas perspetivas para conceção de produtos de valor acrescentado a partir dos resíduos florestais mais correntes em Portugal. Apesar das soluções atuais mais comuns passarem pela geração de energia através da queima em centrais térmicas, há um grande potencial em tratar esses resíduos como matéria-prima e de onde se pode obter bioetanol, fibras de celulose, colas adesivas, entre outros diversos produtos.

Tendo em vista os temas abordados neste trabalho, conclui-se que as possibilidades de novos estudos são inúmeras. Citam-se três sugestões de trabalhos futuros que englobam os principais assuntos que foram aqui tratados:

- Estudo da viabilidade económica da utilização de sistemas telecomandados para corte da vegetação natural com vista à geração bioenergética;
- Caracterização mecânica de fibras de celulose extraída de resíduos florestais para aplicações têxtil;
- Caracterização mecânica de compósitos de cortiça, provenientes dos desperdícios da indústria transformadora, em matriz polimérica (polímeros reciclados) e potenciais aplicações.

Referências bibliográficas

- [1] FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, **ESTRATÉGIA DE INVESTIGAÇÃO E INOVAÇÃO PARA UMA ESPECIALIZAÇÃO INTELIGENTE**, Novembro/2 ed. .
- [2] AIFF – Associação para a Competitividade da Fileira Florestal, **Relatório de caracterização da fileira florestal 2010**. 2010.
- [3] ICNF, IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares. [pdf]. 2013, p. 34.
- [4] Diário da República: I série, Nº 179 - Resolução do Conselho de Ministros n. 114/2006 - Estratégia Nacional para as Florestas. 2006.
- [5] ICNF, **ESTATÍSTICA ANUAL DO NÚMERO DE OCORRÊNCIAS E ÁREA ARDIDA NO PERÍODO DE 2001 a 2010**.
- [6] F. Catry, M. Bugalho, J. Silva, **Recuperação da floresta após o fogo. O caso da Tapada Nacional de Mafra**. Lisboa, 2007.
- [7] DGRF – Direcção-Geral dos Recursos Florestais, “Perigosidade de Incêndio Florestal.” [Online]. Disponível em: <http://www.icnf.pt/>. [Acesso: 30-Mar-2016].
- [8] ICNF, **ANÁLISE DAS CAUSAS DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS - 2003 - 2013**. 2014.
- [9] A. Ferreira, J. Silva, M. J. Maia, F. Catry, F. Moreira, **Gestão Pós-Fogo. Extracção da madeira queimada e protecção contra erosão do solo**. Lisboa: DGRF – Direcção-Geral dos Recursos Florestais, 2005.
- [10] Protecção Civil, “Danos. Incêndio florestais.” [Online]. Disponível em: <http://www.prociv.pt/>. [Acesso: 30-Mar-2016].
- [11] D. Viegas, “A Situação dos Incêndios Florestais em Portugal após 2003,” em **INCÊNDIOS FLORESTAIS - 5 ANOS APÓS 2003**, 2008, p. 81.
- [12] Diário da República: I série, Nº 123 - Decreto-Lei nº 124/2006 de 28 de Junho. 2006.
- [13] C. F. de Castro, G. Serra, J. Parola, J. Reis, L. Lourenço, S. Correia, **Combate a incêndios florestais**, 2ª ed., vol. XIII. Sintra, 2003.
- [14] P. Fernandes, H. Botelho, C. Loureiro, **MANUAL DE FORMAÇÃO PARA A TÉCNICA DO FOGO CONTROLADO**. Vila Real, 2012.
- [15] G. Louro, H. Marques, F. Salinas, **Elementos de Apoio à Elaboração de Projectos Florestais**, 2a ed. Lisboa: Direcção-Geral das Florestas, 2002.
- [16] Cláudia Sousa, “Biomassa florestal: oportunidade e valor,” *Anefa - Revista da Associação Nacional de Empresas Florestais, Agrícolas e do Ambiente*, vol. 11, Lisboa, p. 4, 2011.
- [17] S. Helena, C. Barradas de Moraes, “Avaliação da viabilidade técnica e económica da valorização de cepos, ramos e bichadas de eucalipto,” **Dissertação de Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente**, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.
- [18] Projecto Enersilva, **Enersilva - Promoção do uso da biomassa florestal para fins energéticos no sudoeste da Europa (2004-2007)**. 2007.
- [19] Direcção de Serviços de Valorização do Património Florestal, **Princípios de Boas Práticas Florestais**. Lisboa, 2003.
- [20] C. P. C. A. Netto, “Potencial da biomassa florestal residual para fins energéticos de três concelhos do distrito de Santarém,” **Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente**, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2008.
- [21] ADENE/INETI, “Forum Energias Renováveis em Portugal - Relatório Síntese,” 2001. [Online]. Disponível em: http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/energias_renov.
- [22] The Navigator Company, “Energia.” [Online]. Disponível em: <http://www.thenavigatorcompany.com/>. [Acesso: 15-Jun-2016].
- [23] COTF- Centro de Operações e Técnicas Florestais, **Utilização da motorroçadora nos trabalhos florestais**. Lousã, 2014.

- [24] Fernando Santos, CONTROLO DE MATOS EM ÁREAS FLORESTAIS. Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Trás-os-Montes e Alto Douro, 1999.
- [25] E. R. Burla, "AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO HARVESTER NA COLHEITA DO EUCALIPTO," Tese de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2008.
- [26] R. C. G. Robert, F. A. P. D. R. C. E. Silva, M. P. da Rocha, E. J. do Amaral, I. L. Guedes, "Avaliação do Desempenho Operacional do harvester 911.3 X3M em Áreas Declivosas," Floresta e Ambient., vol. 20, no. 2, pp. 183–190, 2013.
- [27] O. Thees, F. Frutig, and P. Fenner, "COLHEITA DE MADEIRA EM TERRENOS ACIDENTADOS – RECENTES DESENVOLVIMENTOS TÉCNICOS E SEU USO NA SUÍÇA," em XVI Seminário de Atualização sobre Sistema de Colheita de Madeira e Transporte Florestal, 2001.
- [28] H. C. Fernandes, "COLHEITA FLORESTAL." Universidade Federal de Viçosa, p. 2.
- [29] F. E. Altoé, "História e Evolução da Colheita Florestal no Brasil," Monografia de graduação em Engenharia Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.
- [30] G. P. Castro, "ESTUDO, REVISÃO E DISCUSSÃO DE CONCEITOS E TEMAS ABORDADOS NA COLHEITA FLORESTAL MECANIZADA," Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Florestal, Faculdade Jaguariáiva, 2011.
- [31] C. C. Machado, "Sistemas de colheita florestal," Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa.
- [32] P. G. U. Frederico, "Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal," Dissertação de pós-graduação em Ciência Florestal para obtenção do título de Magister Scientiae, Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- [33] A. C. Sequeira, D. Tavares, E. Deus, J. Jorge, P. Salgueiro, M. S. Rocha, F. C. Rego, "Dinâmicas do Eucalipto na Paisagem de Portugal Continental entre 1970 e 2007," em 14º Encontro Nacional de Ecologia SPECO Encontro da Primavera APEP 2013, 2013.
- [34] H. Pereira, "Explorar a diversidade do género Eucalyptus: espécies e utilizações," em O Eucalipto - Produção e Ambiente, 2015.
- [35] AIFF – Associação para a Competitividade da Fileira Florestal, Estudo prospetivo para o setor florestal - Relatório final. 2013.
- [36] DNGR - Direcção Nacional de Gestão Florestal, 5.º INVENTÁRIO FLORESTAL NACIONAL. 2010.
- [37] J. Gominho, A. Lourenço, D. Neiva, Â. Luís, A. P. Duarte, H. Pereira, "Cepos de eucalipto: uma matéria-prima para biorrefinarias," in O Eucalipto - Produção e Ambiente, 2015.
- [38] A. Costa, C. Pereira, Manual de Instalação de Novos Povoamentos com Sobreiro. Aplicação de Boas Práticas nas Regiões da Chamusca e de Alcácer do Sal. Lisboa, 2007.
- [39] D. A. A. da S. Castel-Branco, "Análise da mortalidade em plantações jovens de sobreiro (Quercus suber L.) e sua relação com a qualidade da estação Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais," Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, 2014.
- [40] Associação para a Valorização da Floresta de Pinho, Manual de boas práticas florestais para o Pinheiro Bravo. 1999.
- [41] A. M. P. J. Ferreira, "Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Factores de Variação Regional," Tese de Doutoramento em Geociências, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 2000.
- [42] Instituto Geográfico Português, Ed., ATLAS DE PORTUGAL. Lisboa, 2005.
- [43] Plano Nacional - Defesa da Floresta Contra Incêndios, "Relatório Intercalar," .
- [44] I. S. Coelho, "Propriedade da Terra e Política Florestal em Portugal," Silva Lusitana, vol. 11, no. 2, pp. 185–199, 2003.
- [45] F. Oliveira Baptista, R. T. Santos, Os Proprietários Florestais. Oeiras: Celta Editora, 2005.

- [46] M. J. CANADAS, A. NOVAIS, "Proprietários florestais, gestão e territórios rurais," *Análise Social*, Volume XLIX (2.º), N.º 211, pp. 346–381, 2014.
- [47] ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, *Áreas ardidas por tipo de ocupação do solo (1996-2014)*. 2015.
- [48] J. Aranha, A. R. Calvão, D. Lopes, H. Viana, "QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA CONSUMIDA NOS ÚLTIMOS 20 ANOS DE FOGOS FLORESTAIS NO NORTE PORTUGAL," *INFO* 26, pp. 44–49.
- [49] D. X. Viegas, "Manual sobre incêndios florestais." Lisboa, Sec. Geral do Min. do Planeamento e da Administração do Território, 1989.
- [50] Vermeer, "Vermeer Portugal." [Online]. Disponível em: <http://www.vermeer.pt/>. [Acesso: 03-Set-2016].
- [51] AS MOTOR, "AS 750 RC Special Machine." [Online]. Disponível em: <http://www.as-motor.de/>. [Acesso: 17-Maio-2016].
- [52] Timan, "RC-750 - Slope mower." [Online]. Disponível em: <http://www.timan.dk/>. [Acesso: 17-Maio-2016].
- [53] Spider, "SLOPE MOWERS." [Online]. Disponível em: <http://www.slope-mower.com/>. [Accessed: 17-Maio-2016].
- [54] H. N. de Souza, "O ESTADO DA ARTE DA MECANIZAÇÃO DA SILVICULTURA EM TERRENOS MONTANHOSOS," Trabalho de Pós-Graduação em Gestão Florestal, Universidade Federal do Paraná, 2014.
- [55] José de Jesus Figueiredo da Silva, António Manuel de Amaral Monteiro Ramos, "Patente nº PT 105306 - Máquina Destinada ao Corte em Contínuo de Plantas Lenhosas," 2012.
- [56] Jornal Online - Universidade de Aveiro, "Máquina da UA quer revolucionar limpeza das florestas portuguesas," 2012. [Online]. Disponível em: <https://uaonline.ua.pt/pub/detail.asp?c=9653>. [Acesso: 15-Jun-2016].
- [57] António Manuel de Amaral Monteiro Ramos, "Patente nº PT105546 - Equipamento para Limpeza Florestal de Arbustos com Arranque e Armazenamento de Biomassa Arbustiva," 2012.
- [58] F. Santos, *Considerações gerais sobre material de tracção utilizado em agricultura*. 1992.
- [59] D. A. Coronel, A. Lago, L. Lengler, T. N. da Silva, "O APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DO SETOR FLORESTAL DE LAGES - SANTA CATARINA," em *XLV Congresso da Sober "Conhecimentos para Agricultura do Futuro"*, 2007.
- [60] S. V. M. Teixeira, "Pesquisa de materiais com propriedades desodorizantes para gases oriundos de compostagem," Dissertação de Mestrado em Ciências e Tecnologias do Ambiente, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2014.
- [61] J. C. S. Silva, "Biofiltros na remoção de compostos odoríferos: pesquisa de materiais," Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, 2011.
- [62] J. Bragatto, "Avaliação do potencial da casca de Eucalyptus spp. para a produção de bioetanol," Tese de Doutoramento em Ciências, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2010.
- [63] Portucel Soporcel Group, "BIOBLOCKS Project," em *Novos Materiais Celulósicos*, .
- [64] M. I. F. da Mota, "Extracção em base aquosa de compostos polares da casca de Eucalyptus globulus na perspectiva da sua recuperação," Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [65] R. V. da Silva, "USO DE TANINOS DA CASCA DE TRÊS ESPÉCIES DE EUCALIPTO NA PRODUÇÃO DE ADESIVOS PARA MADEIRA," Tese de Pós-Graduação em Ciência Florestal para obtenção do título de Magister Scientiae, Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- [66] R. M. de A. Domingues, "Extraction and purification of triterpenic acids from eucalypt bark," Tese de Doutoramento em Engenharia Química, Universidade de Aveiro, 2012.
- [67] S. M. Costa, A. Pessoa Jr., P. G. Mazzola, P. O. Magalhães, S. O. Rogero, S. A. Costa,

“PRODUÇÃO DE FIBRAS TEXTÉIS A PARTIR DA CELULOSE DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR,” em 18º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2008.

- [68] A. J. M. de Lima, “Utilização de resíduo de *Pinnus spp* e materiais cimentícios alternativos na produção de blocos para alvenaria estrutural,” Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 2009.
- [69] M. R. Garcez, T. Santos, E. O. Garcez, D. Gatto, “Propriedades Mecânicas de Compósitos Cimento-Madeira com Serragem Tratada de *Pinus elliottii*,” *Rev. Ciência da Madeira - RCM*, vol. 7, no. 1, pp. 16–27, 2016.
- [70] G. H. D. Tonoli, “Fibras curtas de Eucalipto para novas tecnologias em fibrocimento,” Tese de Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009.
- [71] D. W. Silva, “Propriedades físico-mecânicas de fibrocimento reforçado com fibras de eucalipto tratadas termicamente,” Dissertação de Mestrado em Engenharia de Biomateriais, Área de Concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos, Universidade Federal de Lavras, 2015.
- [72] N. M. A. Cordeiro, “Fracionamento da cortiça e caracterização dos seus componentes: estudo de possibilidades de valorização suberina,” Tese de Doutorado em Química, Universidade de Aveiro, 1998.
- [73] P. A. F. de Sousa, “Upgrading of suberin from cork and birch outer bark,” Universidade de Aveiro, 2011.
- [74] R. Eires, S. Jalali, “Aglomerado compósito de granulado de cortiça - Materiais não convencionais para uma construção sustentável,” Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho.
- [75] Forestis - Associação Florestal de Portugal, “Nemátodo da Madeira do Pinheiro.” .
- [76] C. M. B. de L. N. Monteiro, “Caracterização anatômica e física de *Eucalyptus globulus* Labill. de segunda rotação,” Trabalho de Fim de Curso de Engenharia Florestal, INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA, UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA , 2003.

ANEXO A

**Artigos apresentados no âmbito do projeto na Conferência de
Engenharia Mecânica - CEM 2016**

OPTIMIZATION OF FOREST CLEANING

Novais, Catherine¹; Pais, Diana²; Ribeiro, Jorge³; Viegas, Domingos⁴; Marques, António⁵; Baptista, António⁶.

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering – University of Porto, Portugal, up201209717@fe.up.pt

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering – University of Porto, Portugal, dianalobaopais@gmail.com

³ Department of Mechanical Engineering, University of Coimbra, Portugal, mrjorgesribeiro@gmail.com

⁴ ADAI/LAETA, Faculty of Science and Technology of the University of Coimbra, Portugal, xavier.viegas@dem.uc.pt

⁵ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering – University of Porto, Portugal, marques@fe.up.pt

⁶ INEGI/LAETA, Faculty of Engineering – University of Porto, Portugal, abaptista@inegi.up.pt

KEYWORDS: forest management, cleaning systems, forestry sub-products

ABSTRACT: Portugal has 35% of forest areas and is a major producer of pulp, paper and cork. The industries of these sector are associated with forests' exploration. Currently, it re-uses some of the waste they produce for the production of electrical and thermal energy to be used on their own industries.

Being a country with a steep terrain, mainly in the north area, it is necessary to study the technologies that can be implemented in the mechanized cleaning of forests. It is suggested to associate forest harvesting to the management of waste generated in this activity in order to promote it better, whether in power generation from biomass or in the design of value-added products. The aim therefore is to seek mechanical methods for the capture of waste generated in harvesting and preventive cleaning to optimize the forest sector in steep slope conditions.

The industry has been concerned in creating and developing appropriate technologies for forest harvesting and their waste and by-products in different situations of soil. It is up to the owner and / or timber industry analyze the most favorable situation in terms of cost vs. performance in the implementation of mechanized systems to replace manual or semi-mechanized. It appears that, when possible, this substitution is advantageous both in increasing the production capacity and the reduction of occupational accidents, very common in manual forest harvesting. We conclude that the adaptation of forest harvesting equipment and machines commonly used in other industries became a viable option. Among the requirements, equipment mounted on track has greater ability to operate on steep slopes. Another important aspect for operating the machines is that the cabins have a way to create flatness. In situations of very rough soil, an auxiliary traction hoist can be used.

1 INTRODUCTION

Forested areas represent approximately 35% of the territory of continental Portugal and have a significant impact on the Portuguese PIB [1]. In addition to their role in the supply of raw material for industry, they are also important to the international environmental commitments contributing to carbon dioxide sequestration, oxygen production and supply of biomass.

Portugal is a major producer of pulp, paper and cork. The industries of this sector are associated with forests' exploitation. Currently, it re-uses some of the waste they produce for the production of electrical and thermal energy to be used on their own industries. The resulting black liquor of the cooking of wood - by-product associated with the paper production process - is also incorporated for obtaining energy.

Portugal has a climate with common aspects of the countries of the Mediterranean Basin and is characterized by a dry summer. This peculiarity climate favours the occurrence of fires by the ease of ignition according to the dryness of the vegetation [2]. Given the availability of raw material in Portugal, it is necessary to encourage preventive cleaning of forests in order to avoid the negative externalities caused by the fires.

In forestry, the most common wood harvesting systems are the full tree or cut-to-length. In the full tree system, the cutting and delimbing of trees is done at the place of harvest followed by the transportation and processing of trees on the roadside or patio. In the cut-to-length system, the trees are cut and processed into logs with dimensions according to the final use, in the very place of harvest [3]. In the full tree system, the feller buncher and skidder are the most used equipment, and on the cut-to-length system, the harvester and forwarder. The choosing of the system is usually defined by the end use of the wood [4]. Being a country with a steep terrain, mainly in the northern area, it is necessary to study the technologies that can be implemented in the mechanized cleaning of forests in order to

make the management of fuel and eliminate the competition between natural trees and commercial ones in the capture of water, nutrients and light. It is suggested to associate forest harvesting to the management of waste generated in this activity in order to promote it better, whether in power generation from biomass or in the design of value-added products. The aim therefore is to seek mechanical methods for the capture of waste generated in harvesting and preventive cleaning to optimize the forest sector in steep slope conditions.

2 RESEARCH QUESTION

Control of natural vegetation is currently done by several methods: manual cleaning, by rotary-cutters, by disking or by controlled fire. Manual cleaning is used where it is not possible to use mechanical means. The bush cleaning with mechanical cutting is not widely used in the installation of new settlements. An adequate tractor can be used for cleaning and maintenance of stands of pine trees. Controlled fire is a specialized technique of applying fire to fuel management. It can be used in hilly, rocky or difficult to access areas and it is independent of the area to be treated.

In this context, it appears that there is a deficiency in current cleaning systems. Current mechanized systems only work on some steep slopes and geomorphology of Portuguese forests is very variable and many plantations are on hillsides with slopes greater than 30%. The controlled fire can be done only by qualified technical workers and requires good planning in order to meet the goals without negative impacts. Another major shortcoming inherent in the various current cleaning solutions is related to the collection of waste and residues for further appreciation.

Our objectives aim at filling the gaps in current cleaning systems, collection and transport, identifying the needs and requirements of Portuguese forests, as well as the identification of the technical specifications of equipments capable of cleaning, collection and transportation of

waste and sub-products in places where cleaning is done manually.

3 STATE OF THE ART REVIEW

The collection of forest residues is dependent on the type of harvesting system used in order to optimize its use. Currently, companies have developed adaptive mechanisms for the collection of forest waste as there is the possibility of the use of them for power generation. However, other valuation possibilities in the design of value-added products can be checked.

In choosing the type of mechanized harvesting, it should take into account variables such as experience and skill of the workers, forest species, the primary product, the distance carrier and transport, the performance of the machine or equipment, the required capital and the type of soil. Not paying attention to some of these variables will result in operational problems and inefficiency [5].

Harvesters, usually used in cut-to-length harvesting system, can be used in the extraction of wood for bioenergy and for larger diameter trunks for industrial gain [6]. As they are able to make the delimbing and debarking trees, waste released into the soil can be collected for a later use. These devices are capable of operating on slopes that can reach to 50% when equipped with crawlers [7], [8]. The main brand suppliers worldwide are Caterpillar, John Deere, Komatsu Forest, Ponsse, Tigercat.

The feller buncher, used in full tree harvesting system, performs the cutting of trees, but not the processing of them. It is able to operate on slopes up to 50% when you have cab levelling and a equipped crawler [9]. The waste from these trees are obtained at the time of the processing, usually on the side of the field or on the roadside.

Among the collecting equipment, there are also the forwarders and skidders. Forwarders are articulated machines with loading platform suspension on the rear chassis equipped with hydraulic crane used in the loading and

unloading of the logs. They are able to work on rough terrains to a maximum slope of 30%, or 60% if they are moving in the direction of the slope [9]. The skidders are used to drag the trees. The models mounted on track can operate on land up to 50% in favour of the slope [9].

In very steep or swampy areas, where there is still the need for semi-mechanized cutting with chainsaws, it becomes feasible to use mechanized conveyors for the extraction of harvest to the roadside for further processing of wood and forest residues. In this case, can be analysed the use of Ground Carriage Pully, where the logs are separated with crane by remote control and the ones that are out of reach can be pulled with the winch mounted on the equipment. Cables pull the machine, not wheels, which provides advancement in wet and loose soils [10]. In favourable soil, where the use of harvesters is feasible, the Ground Carriage Pully may also be suitable as wood harvesting removal system for the roadside and subsequent transport to the industry. In this case, forest residues remaining in the soil would play the role of nutrition and conservation until further removal with appropriate equipment.

The control of natural vegetation is usually done manually (from brush cutters, chainsaws and spades), or mechanically with the use of rotary - cutters or disc harrows, controlled use of fire or herbicide products. However, these methods have some limitations or low productivity. In the case of manual farm, it is an activity that has great physical strain for the workers. Mechanical methods are limited by the steepness of the terrain and also cannot be used in recent forest populations. The controlled fire requires a specialized team and cannot be done during the whole year. Among the negative factors linked to herbicide application, there's a lack of professionals with experience in this field, working with the forest sector, and a small number of products on the market, used in reforestation, as the main parameters to be improved first instance [11].

When thinking of biomass for energy use, the most common is to perform its processing with the use of chippers and grinders. The available equipments are capable of operating both in branches and bark as whole trees [12]. If there is feasible access to places where there is accumulated waste and, also by economic factors, the processing of it before transport to the biomass plants is desirable given to the fact that it increases the amount of biomass transported. Current models of shredders and chippers are equipped with claws for collection of forest left-overs and, after processing, they deposit it directly on trucks for the storage of this material.

4 POTENTIAL TECHNOLOGIES TO THE OPTIMIZATION OF FOREST CLEANING

The cleaning of the natural vegetation is important for the prevention of fires and also when it offers competition for planting in the capture of water, nutrients and light. In order to better analyse the potential technologies for the mechanization of forest cleaning, there are options of mechanisms that can operate on lands with steep slopes, a recurrent situation in Portugal, as shown in Table 1.

Table 1. Potential technologies for the cleaning of natural vegetation.

Potencial Technologies	
Cut	<ul style="list-style-type: none"> • Remote Control Cut Systems • Cutters with double-cutting system • Tractor-weeder • Excavators
Collection and Transportation	<ul style="list-style-type: none"> • Forwarders with storage containers • Ground Carrier Pully • Self-propelled chargers

When there is a need for the cleaning of the forest area for the removal of natural vegetation there are remote controlled cutting systems to replace manual cutting (Figure 1). The advantage of these mechanisms, in addition to the increase of productivity, is the fact that the operation can be carried out by remote control and the possibility of its use in

steep areas with up to 40 or 55 ° tilt, if equipped with auxiliary traction hoist [13]–[15].



Figure 1. Cutting natural vegetation through Remote control system AS 750 RC [13]

Souza [16] points out, as a potential technology to control weed competition, the use of brush cutters with double system of cutting discs coupled to hydraulic systems of tractors or other equipment able to overcome the steep slopes. These trimmers are unique because they can move their direction when in contact with a trunk or stem. This solution allows a single pass cut from the space between lines to the vegetation lines.

Another alternative is the use of a tractor-weeder [16], which operates on land with up to 34° slopiness (Figure 2). The rear axle of the tractor corrects the slope when the operation is performed perpendicular to the ground slope line.



• Figure 2. Tractor-weeder [16]

Common equipments used in construction such as excavators are already being used in forestry activities on highly tilted land (up to 45°). It is proposed to examine the feasibility of using this equipment in removing the

shrubby and herbaceous vegetation.

With the machines of forest harvesting being able to operate on steep inclinations, a technological possibility is the adjustment of these machines in order to perform the collection of waste. As an example, there could be the use of forwarders with storage containers for waste collection and transport to the side of the road. In very rough soil, the use of auxiliary traction hoist would be recommended.

Another suggestion would be to use the Ground Carriage Pully as the base machine for the removal of surplus on forestry, as it is seen to ensure smooth operation in very steep slope and also marshlands. The crane would act to collect and could be coupled to the equipment chassis with one storage container to increase the transported amount.

Souza [16] suggests the use of self-propelled loaders as machines, based on the forestry activity, which operates successfully in the cane fields of Brazil with up to 31° tilt. It would be pertinent to verify the use of this equipment in the collection of the forest waste.

It is important to invest in plantations where the distance between rows promotes the proper growth of the species, but also allows the passage of mechanical equipment for the cleaning of natural vegetation. Hence, a distance of 3m between trees should be considered.

It is also suggested that the waste generated by the harvesting of the wood – barks, leaves and twigs – to be considered for posterior use in products of more added value. In the full tree harvesting systems, wood is processed on the roadside, so the area is cleared of waste. As the processing of trees is made at a single point, the collection of harvest leftover becomes easier. There are already claws developed for use in base machines that can enable the collection of both the timber and accumulated forest residues and prevents the collection of impurities such as sand or earth. In the cut-to-length harvesting system, the wood is generally processed at the cutting site. Therefore, there would be the advantage of

maintaining the residues enough time in the soil for the nutrition of it for a later collection by the forwarder with storage containers.

The thinning operations, where the lower industrial interest trees are cut to promote the growth of the others, must also be considered in order to take advantage of this crop for subsequent use. The equipment used in forest harvesting can be adapted to the thinning of smaller diameter trees. The suitable harvester heads for mechanized cutting in thinning operations can be attached to compatible bases machines - bulldozers - in order to minimize operating costs. Mechanized thinning must be done carefully to avoid damage to the soil, such as compaction, and the remaining trees. In this case, the cranes must occupy little space and have a better reach to prevent its movement.

5 CONCLUSION

The industry has been concerned in creating and developing appropriate technologies for forest harvesting and their waste and by-products in different situations of soil. It is up to the owner and / or timber industry analyse the most favourable situation in terms of cost vs. performance in the implementation of mechanized systems to replace manual or semi-mechanized. It appears that, when possible, this substitution is advantageous both in increasing the production capacity and the reduction of occupational accidents, very common in manual forest harvesting. We conclude that the adaptation of forest harvesting equipment and machines commonly used in other industries became a viable option. Among the requirements, equipment mounted on track have greater ability to operate on steep slopes. Another important aspect for operating the machines is that the cabins have a way to create flatness. In situations of very rough soil, an auxiliary traction hoist can be used.

6 ACKNOWLEDGMENTS

We thank LAETA – Associated Laboratory for

Energy, Transports and Aeronautics for supporting this project.

7 REFERENCES

- [1] ICNF, *IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares. [pdf]*. 2013, p. 34.
- [2] F. Catry, M. Bugalho, and J. Silva, *Recuperação da floresta após o fogo. O caso da Tapada Nacional de Mafra*. Lisboa, 2007.
- [3] H. C. Fernandes, “COLHEITA FLORESTAL.” Universidade Federal de Viçosa, p. 2.
- [4] Veracel Celulose SA, *MUDANÇA NO PROCESSO DE COLHEITA FLORESTAL COM INTERAÇÃO NA SILVICULTURA*. .
- [5] E. R. BURLA, “AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO “HARVESTER” NA COLHEITA DO EUCALIPTO,” Tese de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2008.
- [6] Ponsse Group, “Harvesters.” [Online]. Available: <http://www.ponsse.com/pt/produtos/harvesters>. [Accessed: 17-May-2016].
- [7] R. C. G. ROBERT, F. A. P. D. R. C. E. SILVA, M. P. DA ROCHA, E. J. DO AMARAL, and I. L. GUEDES, “Avaliação do Desempenho Operacional do harvester 911.3 X3M em Áreas Declivosas,” *Floresta e Ambient.*, vol. 20, no. 2, pp. 183–190, 2013.
- [8] O. Thees, F. Frutig, and P. Fenner, “COLHEITA DE MADEIRA EM TERRENOS ACIDENTADOS – RECENTES DESENVOLVIMENTOS TÉCNICOS E SEU USO NA SUÍÇA,” in *XVI Seminário de Atualização sobre Sistema de Colheita de Madeira e Transporte Florestal*, 2001.
- [9] G. P. CASTRO, “ESTUDO, REVISÃO E DISCUSSÃO DE CONCEITOS E TEMAS ABORDADOS NA COLHEITA FLORESTAL MECANIZADA,” Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Florestal, Faculdade Jaguariáiva, 2011.
- [10] KONRAD, “PULLY Laufwagen.” [Online]. Available: <http://www.forsttechnik.at/>. [Accessed: 17-May-2016].
- [11] L. C. KREJCI, “UTILIZAÇÃO DE HERBICIDAS EM PLANTIOS DE Eucalyptus,” *Série Técnica IPEF*, vol. 4, no. 12, pp. 92–115, 1987.
- [12] Vermeer Corporation, “Os equipamentos Vermeer processam os resíduos de madeira de forma eficiente.” [Online]. Available: <http://www2.vermeer.com/>. [Accessed: 17-May-2016].
- [13] AS MOTOR, “AS 750 RC Special Machine.” [Online]. Available: <http://www.as-motor.de/>. [Accessed: 17-May-2016].
- [14] Timan, “RC-750 - Slope mower.” [Online]. Available: <http://www.timan.dk/>. [Accessed: 17-May-2016].
- [15] Spider, “SLOPE MOWERS.” [Online]. Available: <http://www.slope-mower.com/>. [Accessed: 17-May-2016].
- [16] H. N. DE SOUZA, “O ESTADO DA ARTE DA MECANIZAÇÃO DA SILVICULTURA EM TERRENOS MONTANHOSOS,” Trabalho de Pós-Graduação em Gestão Florestal, Universidade Federal do Paraná, 2014.

FOREST PRODUCTS VALORIZATION AS A TOOL TO REDUCE FIRE RISK: FOREST BIOMASS MANAGEMENT AND CHARACTERIZATION TO DEVELOP ENERGY PRODUCTION SYSTEMS AND BIOCOMPOSITES

Pais, Diana ¹; Novais, Catherine ²; Marques, António³; Viegas, Domingos⁴; Baptista, António⁵; Nóvoa, Paulo⁶.

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering – University of Porto, Portugal, dianalobaopais@gmail.com

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering – University of Porto, Portugal, up201209717@fe.up.pt

³ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering – University of Porto, Portugal, marques@fe.up.pt

⁴ ADAI/LAETA, Faculty of Science and Technology of the University of Coimbra, Portugal, xavier.viegas@dem.uc.pt

⁵ INEGI/LAETA, Faculty of Engineering – University of Porto, Portugal, abaptista@inegi.up.pt

⁶ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering – University of Porto, Portugal, prnova@fe.up.pt

KEYWORDS: *Forest management, Reutilization, Bio-composites*

ABSTRACT: Within the context of the Forest and Biomass Project, which acts locally to improve solutions for specific forest ecological problems, efforts were gathered to improve what could be the means to forest products and by-products valorisation as a tool to reduce fire risk. Cellulose industry harvests eucalyptus trees and often leaves at the field the poles, branches and barks considered a no-value product, except for biomass energy production. Those, concurrently with the broom species, also very abundant in Portugal and also considered not to have economic value, create conditions to be a strong natural fire propagator. Thus, efforts were gathered to improve forest biomass management and characterization to appraise feasible solutions such as forest fuel energy production systems and creation of value-added products, i.e. composite materials reinforced or filled with natural fibres for bio-polymers to substitute plastics derived from fossil fuels.

This particular paper aims to characterize a composite system designed from a base that takes into account factors such as recycling, renewability, biodegradability, and reutilization of biomass and forest waste, providing a more sustainable and ecological product, while contributing to reduce the forest fire risk. Following this path, a composite material made with a recycled polyvinylchloride matrix and cellulose pulp derived from *Eucalyptus globulus* was designed. To characterize the behaviour of the so designed composite system and its subsequent applications, samples were assembled and mechanical tests such as bending, tensile and compression tests, water absorption, reaction to fire, thermal and acoustic tests were planned to be carried out at FEUP and INEGI laboratories.

1. INTRODUCTION

About 35% of Portugal territory, excluding islands, is forest. It corresponds to 3 154 800ha. The eucalypt trees dominate the forest occupation of the country, with 26% correspondent to 812 000 ha ($\sim 52\text{m}^3/\text{ha}$), being 50% of it localized at the centre region of the country [1]. The continuous growing area occupied with eucalypts is directly related to the cellulose industry as seen on figure 1. The economic relevance of cellulose industry in Portugal is shown on figure 2, representing approximately 10% of the Portuguese' goods exports ($\sim 42\text{M€}$) [2].

The cellulose industry harvest wood to produce their pulp that will be ultimately processed in paper. Though it started with pine, nowadays the wood serving this industry is *Eucalyptus globulus*. This tree is harvested after an average growing of 8 to 10 years. After two to three harvests, the principal trunk starts growing surrounded by some little new trunks, the poles, around the main one. Once this poles are cut they are considered forest waste. Sometimes they are collected together with branches, leaves and other forest residues, for the production of electrical and thermal energy, mainly on their own mills. Other times, both because the soils need to be fed from nutrients, minerals and other components or because of some impossibility to transport those residues, they are left on the field for some time.

Associated to the dry summer of Portugal there is an ease in the ignition according to the dryness of the vegetation, being the biomass residues boosters to fires [3]. Therefore, forest waste present on forests and available at the pulp mills wood yard constitute a cheap and easily accessible source of raw materials for the bio-based industry such as biomaterials, biochemicals and biofuels. The 30€/ton of biomass are far incomparable with synthetic materials prices, being an incentive for forest cleaning. The biomass collection can improve forest products and by-products valorisation as a tool to reduce fire risk. While responding to specific environmental problems, it creates a new source of income.

With the focus on natural renewable vegetable fibres from forest waste and recycled materials, the objective of this project is the characterization of a bio-eco-composite.

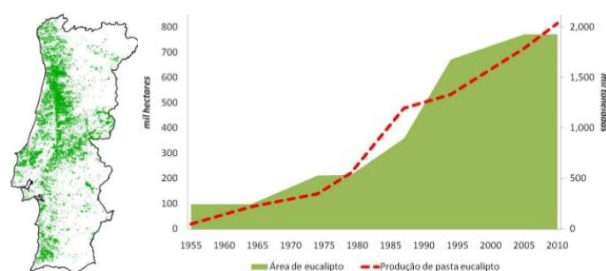


Fig. 1 Distribution of Eucalyptus in Portugal and the growth of Eucalyptus area during time [2]

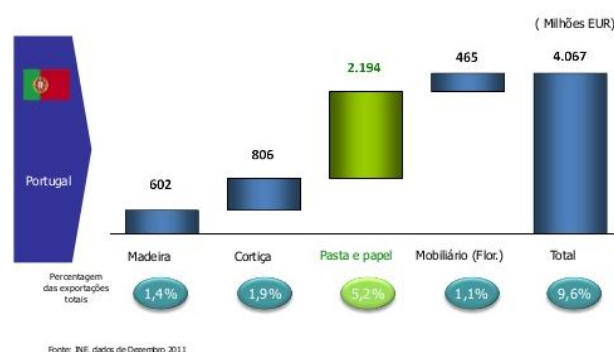


Fig. 2 Contribution of the cellulose industry on Portuguese exports [2]



Fig. 3 *Eucalyptus globulus* trunks, poles and leaves

2. EXPERIMENTAL METHOD

2.1. Materials

Recycled PVC

The supplier of the recycled PVC was Sucatas DR - David Abreu Roque Unip Lda. Sucatas DR is an enterprise located in Braga, Portugal, that practices management and recovery of recyclable solid waste. Their main source are electric wires, that can be seen on Figure 4. They receive about 100ton of electric wires per month considered as a refuse product.

Electric wires are mainly composed by metal parts at the interior such as aluminium and copper, and plastic isolate covering at the exterior. The aluminium or copper are easily separated from the plastic and are actually well put to good use, by melting and reusing. The plastic presented as an insulating cover largely considered a no value product is mainly constituted by polystyrene (PE), polyvinyl chloride (PVC) and a reticulated, that are separated one from each other, extruded, and sold out into granules form.



Fig. 4 Discarded electric wires to recycle metal, PE and PVC

Cellulose

The supplier of the filling fibre from *Eucalyptus globulus* was The Navigator Company, in the form of cellulose pulp. The group is a leading European manufacturer of uncoated woodfree printing and writing paper and one of the largest in the world of bleached eucalyptus kraft pulp (BEKP), generating the highest level of national value added, being the second leading exporter at Portugal. The Group manages 120 000 hectares of woodlands, mostly of *Eucalyptus globulus* (74%). The annual industrial capacity is 1.4. million tons of pulp of which 1.1 million tons is incorporated into paper and 2.5 TWh of electricity.

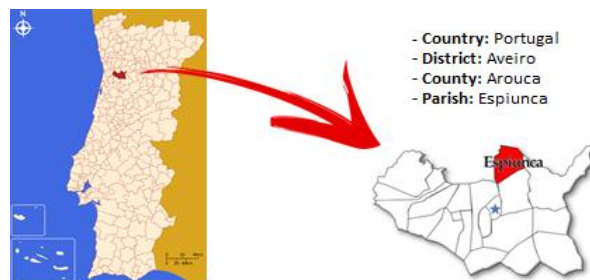


Fig. 5 Pulp fibre – virgin pulp (2% of lignin) and bleached pulp

Manual Extraction

Poles were collected at Arouca, one of the places where Portuguese companies go to harvest the eucalyptus wood for the cellulose industry. Then a tool was made and there were attempts on trying to extract some filaments from both dry and wet poles (submerge on water for 15 days).

Research is still being done on this area of manually extracting the fibres and incorporate them on composites.



(a)



(b)



(c)



Fig. 6 Place of collection (a) and extraction of fibres from dry (b) and wet (c) poles

2.2. Methodology

Table 1 Abbreviations

RPVC	LCEL	WCEL	#P
RECYCLED PVC	Cellulose pulp with 2% of lignin	Blenched cellulose pulp with no lignin	Number of the plate
RPVC_25LCEL			#S
75% of RPVC and 25% of LCEL			Number of the specimen

To assess the influence of eucalyptus fibres on properties of RPVC, a plan was map out to make comparisons between different percentages, as seen on table 2.

It can be seen on figure 7 that the more cellulose the mixture had, the more difficult was the adhesion between PVC and cellulose.

Table 2 Constitution of the plates

#P	LCEL	%	RPVC	%	T°C
1	0	0	4 kg	100	250
2	1 kg	25	3 kg	75	250
3	2 kg	50	2 kg	50	250
4	0.6 Kg	15	3.4 kg	85	180
	WCEL	%	RPVC	%	T°C
5	1 kg	25	3 kg	75	180
6	0.6 Kg	15	3.4 kg	85	180



Fig. 7 Plates number #1, #2, #3, correspondent to table 1

At the time of the edition of this article there only were successfully processed plates #1 and #2.

2.3. Specimens preparation

Since PVC releases chloric acid during heating to injection temperatures, the equipment must have gas exhaustion. For that reason, plates were made at the supplier company factory, where extrusion and injection machines are adequate to work with this kind of material. Then specimens would be machined from the plates.

At FEUP, the specimens were manually machined from the plates #1 and #2, the coherent ones, according to their corresponding norms, using the cutting machinery available at faculty.

3. MATERIAL CHARACTERIZATION

3.1. Tensile tests

After the cutting of the specimens, the width and thickness were measured in three points along the gauge, to determine a proper value of the transversal area where the force was applied.

The specimens and tests for the determination of tensile properties follow the norm ISO 527-4. The speed of testing was 10mm/min.

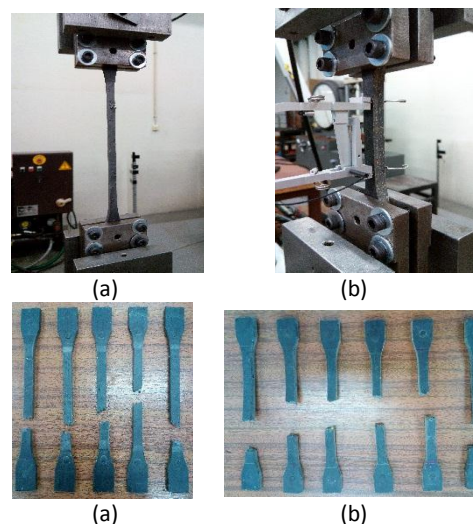


Fig. 8 Tensile tests equipment and result specimens of (a) RPVC and (b) RPVC+25%CEL

Table 3 Tensile stress results

#S	RPVC	RPVC_25LCEL
1	7.661	5.9081
2	7.652	5.3626
3	7.957	5.7475
4	6.808	5.3150
5	6.619	5.0219

**Max
Tensile
Stress
(MPa)**

3.2. Flexural tests

The specimens for the determination of flexural properties follow the norm ISO 14125. The speed of testing was 10mm/min.

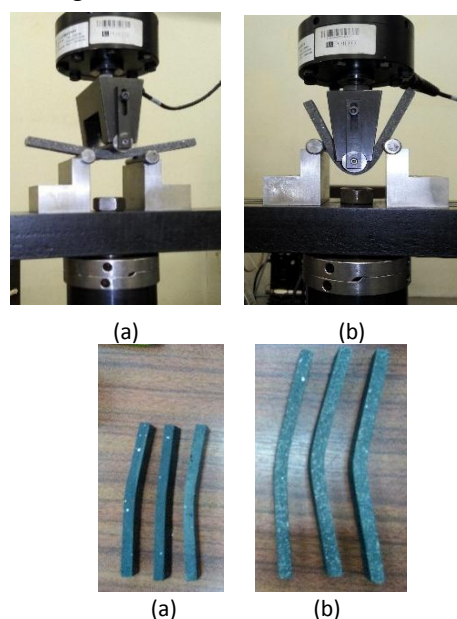


Fig. 9 Flexural test equipment and result specimens of (a) RPVC and (b) RPVC+25%CEL

Table 4 Maximum flexural stress

	#S	RPVC	RPVC_25LCEL
Max Flexural Stress (MPa)	1	0.514	0.926
	2	0.421	1.002
	3	0.480	0.923

3.2. Impact tests

Were machined three specimens of each material to determine impact strength. To fit the equipment specimens are squared with 600*600 [mm]. It was chosen three levels of energy for the falling of weight to each specimen of the same material, for a fixed mass of 3.742 kg.



Fig. 10 Impact test equipment

Table 5 Energy applied to specimen's impact tests

MATERIAL	#S	ENERGY	HIGH
RPVC	1	10 J	0,270 m
	2	20 J	0,543 m
	3	40 J	1,088 m
RPVC+25LCEL	1	10 J	0,270 m
	2	20 J	0,543 m
	3	40 J	1,088 m

Table 6 Peak and failure values from impact test

	#S	PEAK			FAILURE	
		Deflection [mm]	Force [N]	Energy [J]	Deflection [mm]	Energy [J]
RPVC	1	7.666	1770.92	8.72	7.226	9.89
	2	1.004	2674.34	17.39	11.006	19.99
	3	10.668	3213.31	18.88	18.164	31.94
RPVC_25LCEL	1	3.895	2889.93	7.41	3.681	9.46
	2	6.186	3280.04	14.59	6.734	19.90
	3	7.113	4070.54	21.46	10.941	40.18

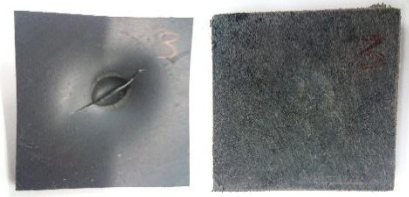


Fig. 11 Specimens #3 after the impact test (a) RPVC with penetrating crack (b) RPVC+25LCEL with very soft crack

3.4. Hardness tests

The hardness of plastics is most commonly measured by the Shore® test which measures the resistance of plastics toward indentation and provide an empirical hardness value. Shore hardness test with Shore D scale were used.

Table 7 Hardness measurements values

#Measure	Hardness [HV]	
	100% RPVC	RPVC+25LCEL
1	45	46
2	45	45
3	45	44
4	45	50
5	44	50
6	45	45
7	45	46
8	44	48
Average	44,75	46,75

3.5. Other tests

Determination of dilatometry coefficients

Specimens for this test should respond to the following parameters

Table 8 Limits to specimens for dilatometry tests

	Minimum	Maximum
Length [mm]	20	50
Width [mm]	5	10

Specimens were assembled with 30mm*8mm.

Compression tests

The specimens for determination of compressive properties are under processing, and follow the norm ISO 604.

Determination of sound absorbance coefficients

Specimens with diameter of 100mm and another one with 30mm were cut for determination of sound absorbance coefficients (α) at the octave band from 125 Hz to 2000 Hz, with the equipment: electronic wave tube Bruel & Kjaer, model: 4002. The test is under processing.



Fig. 12 Specimens for sound and water absorbance tests

Water absorption

Once the determination of acoustic coefficients is not a destructive test, the same were used to the water absorption test, where a source of water was put in contact with the samples for 48h, and water absorbance measures were taken. The test is under processing.

Reaction to fire

Reaction to fire test determines the contribution of a material to fire progress. The specimens for this test followed the norm ISO 11925-2. The conditioning treatment followed the norm EN 13238. The classification will follow the norm NP EN 13501-1. The specimens are 250*90[mm]. The test is under processing.

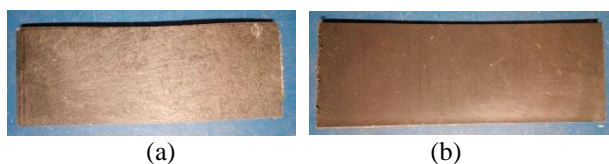


Fig. 13 Specimens for reaction to fire test

SEM

Samples of the materials were taken to Scanning Electron Microscopy. Due to the difficulty on getting access to this machinery, this opportunity was seized to analyse a sample of *Genista* (*Cytisus*) as it constitutes an abundant forest waste in Portugal, for which can be given value by creating value-added products.



Fig. 14 Samples for SEM analysis

4. CONCLUSIONS

From the tests concluded until now, it was seen that the presence of Eucalyptus fibres into the form of cellulose pulp contributes to higher flexural stress, higher force absorbance during impact without cracking, and less tensile stress due to higher hardness and less ductility. The results obtained from the shore durometer hardness test are a useful measure of relative resistance to indentation. However, it does not serve well as a predictor of other properties such as strength, resistance to scratches or abrasion and should not be used alone for product design specifications.

The increasing demand for bio-materials to eco-designed products with higher performances, leads to the development of alternative materials from renewable sources; the forest waste with cellulose, hemicellulose and lignin on its composition, is as great source for new bio based composite materials [4], responding the necessity of replacing synthetic fibres boosters by natural fibres or fillers.

5. Bibliography

- [1] CNF, 2013. IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares. [pdf], 34 pp, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.
- [2] João Lé, 'Plantações de Eucalipto, Povoamentos Existentes - Necessidades Da Indústria Instalada', *Sociedade E Geografia*, 2012, 21
- [3] F. Catry, M. Bugalho, and J. Silva, *Recuperação da floresta após o fogo. O caso da Tapada Nacional de Mafra*. Lisboa, 2007.
- [4] Portucel Soporcel group – BIOBLOCKS Project (2014)